

PREMIO CESARE ALFIERI  
CUM LAUDE

- 4 -

PREMIO CESARE ALFIERI  
CUM LAUDE

COMMISSIONE GIUDICATRICE  
ANNO 2015

Elena Dundovich (*Presidente*, area storica)

Paolo Benvenuti (area giuridica)

Emidio Diodato (area politologica)

Giorgia Giovannetti (area economica)

Gabriella Paolucci (area sociologica)

MARZIO DI FEO

# Automi, realtà virtuale e formiche

*Un'analisi della complessità del fenomeno bellico spaziale*

FIRENZE UNIVERSITY PRESS

2016

Automi, realtà virtuale e formiche : un'analisi della complessità del fenomeno bellico spaziale / Marzio Di Feo.  
– Firenze : Firenze University Press, 2016.  
(Premio Cesare Alfieri Cum Laude; 4)

<http://digital.casalini.it/9788864534169>

ISBN 978-88-6453-415-2 (print)  
ISBN 978-88-6453-416-9 (online PDF)  
ISBN 978-88-6453-417-6 (online EPUB)

Progetto grafico di Alberto Pizarro Fernández, Pagina Maestra snc  
Immagine di copertina: © Nmedia | Dreamstime.com

*Certificazione scientifica delle Opere*

Tutti i volumi pubblicati sono soggetti ad un processo di referaggio esterno di cui sono responsabili il Consiglio editoriale della FUP e i Consigli scientifici delle singole collane. Le opere pubblicate nel catalogo della FUP sono valutate e approvate dal Consiglio editoriale della casa editrice. Per una descrizione più analitica del processo di referaggio si rimanda ai documenti ufficiali pubblicati sul catalogo on-line della casa editrice ([www.fupress.com](http://www.fupress.com)).

*Consiglio editoriale Firenze University Press*

A. Dolfi (Presidente), M. Boddi, A. Bucelli, R. Casalbuoni, M. Garzaniti, M.C. Grisolia, P. Guarnieri, R. Lanfredini, A. Lenzi, P. Lo Nostro, G. Mari, A. Mariani, P.M. Mariano, S. Marinai, R. Minuti, P. Nanni, G. Nigro, A. Perulli, M.C. Torricelli.

This book is printed on acid-free paper

La presente opera è rilasciata nei termini della licenza Creative Commons Attribution 4.0 Unported (CC BY 4.0: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>)

**CC** 2016 Firenze University Press  
Università degli Studi di Firenze  
Firenze University Press  
via Cittadella, 7, 50144 Firenze, Italy  
[www.fupress.com](http://www.fupress.com)

*Printed in Italy*

Quum praeter corpora coelestia, omnia alia quae natura gignit, quamvis in suo genere perfecta speciem Universi expriment, in prima naturae vi, quae est gravitas, sibi non sufficiant, et vi totius oppressa pereant, corpora autem coelestia glebae non adscripta et centrum gravitatis perfectius in se gerentia, Deorum more per levem aëra incedant: animali illi, quod systema solis appellamus, non alia est sublimior puriorque rationis expressio, neque quae philosophica contemplatione dignior sit.

G.W.F. Hegel, *Dissertatio de orbitis planetarum*, 1801

Ancora che per la invida natura degli uomini sia sempre suto non altrimenti pericoloso trovare modi e ordini nuovi che si fussi cercare acque e terre incognite, per essere quelli più pronti a biasimare che a laudare le azioni d'altri, nondimanco, spinto da quel naturale desiderio che fu sempre in me di operare senza alcuno rispetto quelle cose che io creda rechino comune beneficio a ciascuno, ho deliberato entrare per una via la quale, non essendo suta ancora da alcuno trita, se la mi arrecherà fastidio e difficoltà, mi potrebbe ancora arrecare premio, mediante quelli che umanamente di queste mie fatiche il fine considerassino.

N. Machiavelli, *Discorsi sopra la prima deca di Tito Livio*, Proemio, 1517-1518

Ἴπποι ταί με φέρουσιν, ὅσον τ' ἐπὶ θυμὸς ἰκάνοι,  
πέμπον, ἐπεὶ μ' ἐς ὄδον βῆσαν πολύφημον ἄγουσαι  
δαίμονος, ἢ κατὰ πάντ' ἄστη φέρει εἰδότα φῶτα·  
τῇ φερόμην· τῇ γάρ με πολύφραστοι φέρον Ἴπποι

ἄρμα τιταίνουσαι, κοῦραι δ' ὄδον ἡγεμόνευον.  
Ἄξων δ' ἐν χνοίησιν ἴει σύριγγος αὐτῆν  
αἰθόμενος - δοιοῖς γὰρ ἐπειγέτο δινωτοῖσιν  
κύκλοις ἀμφοτέρωθεν -, ὅτε σπερχόιατο πέμπειν  
Ἥλιάδες κοῦραι, προλιποῦσαι δώματα Νυκτός.

Parmenide, *Sulla Natura*, Frammenti I, vv. 1-9



## SOMMARIO

PRESENTAZIONE	XI
<i>Giusto Puccini</i>	
PREMESSA	XIII
LISTA DELLE ABBREVIAZIONI	XV
INTRODUZIONE	XXI
PARTE PRIMA	
TEORIA	
CAPITOLO 1	
<i>PARS DESTRUENS</i> DELLA TEORIA DI UNA GUERRA AEREO- SPAZIALE: AIRPOWER VS. SPACEPOWER	3
1.1 Potere aereo, potere spaziale e strategia: l'aereo-spazio come endiadi tra unità operativa e complementarità di ambienti	3
1.2 Le teorie del potere aereo: il Leviatano, Behemot e oltre	8
1.3 Una teoria del potere spaziale in nuce, o la rivincita di Mecozzi: <i>Where is the Mahan for the final frontier?</i>	14
CAPITOLO 2	
LO SPAZIO COME CAMPO DI BATTAGLIA: QUESTIONI TEORICHE PRELIMINARI DI STRATEGIA DELLA GUERRA SPAZIALE	33
2.1 Le scuole di Lupton sulla «space weaponization»	34
2.2 Il dibattito sull'inevitabilità di un dispiegamento di armamenti nello spazio	37
2.3 Cenni preliminari di astrofisica della guerra	45

## PARTE SECONDA

## OSSERVAZIONE DEL FENOMENO

## CAPITOLO 3

I DISPOSITIVI SATELLITARI	59
3.1 Elementi di un satellite	60
3.2 Classificazione dei satelliti	66
3.3 Innovazione della comunicazione laser e a fibra ottica	85

## CAPITOLO 4

USO DELLA FORZA NELLO SPAZIO TRA VERITÀ EFFETTUALE E IMMAGINAZIONE DI ESSA	89
4.1 Armi spaziali e caratteristiche dell'uso della forza nello spazio	90
4.2 Attacchi 'invisibili' contro un assetto spaziale	92

## CAPITOLO 5

FUNZIONE NET-CENTRICA DELLO SPAZIO IN FUTURI SCENARI DI GUERRA: IL CASO NATO NEC OVER SATCOM	113
5.1 (Infra)struttura spaziale e funzioni di Comando e Controllo (C2)	113
5.2 «Share to Win»: C2 nell'ambito della NNEC	120
5.3 NATO NEC over SATCOM (IST-113) e Tactical IP	127

## PARTE TERZA

## CONTRIBUTO ALLA TEORIA

## CAPITOLO 6

EPISTEMOLOGIA DELLA COMPLESSITÀ COME CHIAVE DI ANALISI DELLA LINEARITÀ DELLA GUERRA SPAZIALE E COME TENTATIVO DI ABBATTERE L'INCERTEZZA NEL FENOMENO BELLICO SULLA TERRA DALLO SPAZIO	133
6.1 La guerra è geometria non-euclidea	133
6.2 Non-linearità del fenomeno bellico in Clausewitz	142
6.3 Linearità del fenomeno bellico nel segmento spaziale	149

## CAPITOLO 7

STUDIO IN LABORATORIO SULLA COMPLESSITÀ DEL FENOMENO BELLICO SPAZIALE	155
7.1 Antagonismo o duplice identità?	155
7.2 Tentativo n. 1. Microfisica e semantica della macchina, o i <i>sensus agiliores</i> della realtà aumentata come primo passo dell'integrazione di questa con l'uomo	159

7.3 Tentativo n. 2. Simulazione di un modello basato su agente (o su <i>avatar</i> ) tramite proposta di integrazione di VBS3 e STK: prepararsi all'incertezza	171
7.4 Tentativo n. 3. Comprendere la complessità del fenomeno bellico nell'organizzazione di una colonia di formiche	186
CONCLUSIONI	199
1. Uso militare dello spazio: quale futuro?	199
2. Sulla natura umana dei guerrieri spaziali	203
3. Il fenomeno bellico nel punto Omega	206
4. <i>Bellum non facit saltum</i>	207
5. Possibili approfondimenti futuri	209
BIBLIOGRAFIA	213
SITOGRAFIA	233



## PRESENTAZIONE

*Giusto Puccini*

Nel 2010, la allora Facoltà di Scienze Politiche “Cesare Alfieri” dell’Università degli studi di Firenze – oggi omonima Scuola – decise di istituire un Premio per Tesi di Laurea Magistrale intitolato a Guido Galli, funzionario dell’ONU rimasto vittima del terremoto di Haiti del 12 gennaio 2010 mentre era impegnato in una riunione di lavoro all’Hotel Christopher, quartier generale dell’ONU, insieme ad altri suoi colleghi.

Con l’istituzione di questo premio di laurea, la Facoltà intendeva onorare la memoria di questo suo ex studente nel modo più consono ai propri fini istituzionali e, al tempo stesso, allo spirito del tutto particolare che ha caratterizzato la vita e l’attività professionale di Guido Galli.

A tale ultimo proposito, merita innanzitutto ricordare che Guido Galli, nato a Firenze il 5 settembre 1967, si è iscritto alla “Cesare Alfieri” nel 1985, dopo aver conseguito il diploma di maturità classica, sempre a Firenze, presso il Liceo Dante.

Fin dall’inizio degli studi superiori, egli ha manifestato sia una notevole propensione all’impegno personale nella vita universitaria e nella politica studentesca, sia uno spiccato interesse per le tematiche inerenti alle relazioni internazionali ed alle vicende umane e sociali dei popoli.

Così, da un lato egli figura fra gli animatori della mobilitazione studentesca del 1990 (il movimento c.d. della ‘Pantera’), e viene poi anche eletto come rappresentante degli studenti nel Consiglio di Facoltà.

Da un altro lato, egli opta per l’indirizzo politico-internazionale dell’allora Corso di laurea quadriennale in Scienze Politiche, per poi laurearsi brillantemente con il massimo dei voti e la lode con una tesi su *Integralismo e politica di potenza. La guerra Iran-Iraq e i suoi effetti sul regime di Baghdad*, relatrice la professoressa Marta Petricioli.

Terminati gli studi universitari ed il servizio civile – durante il quale ha lavorato nel campo dei servizi sociali presso il comune di Terricciola, organizzando attività per i bambini – Guido Galli ha iniziato ad operare in vari paesi: nel 1992 in Messico, presso un ostello gestito da quaccheri; nel 1993 in Messico come osservatore elettorale; nel 1994 in Guatemala, dove ebbe il primo incarico come consulente da parte di una ONG, e dove successivamente ritornò per iniziare il suo lavoro per le Nazioni

Unite, presso l'Ufficio per i rapporti legislativi e gli affari politici della Missione ONU (MINUGUA) in via di insediamento nel Paese.

Nel 2000 venne trasferito in Afghanistan, dove operò prima come *Protection Officer* per l'Ufficio di Coordinamento degli aiuti umanitari (OCHA, *Office for the coordination of humanitarian affairs*), e poi come *Political Affairs Officer* presso la Missione di assistenza dell'ONU (UNAM) insediata a Kabul. Dopodiché, diresse a Stoccolma un programma per la costruzione della democrazia presso l'Istituto internazionale per la democrazia e l'assistenza elettorale (IDEA), assunse poi il ruolo di *Desk Officer* presso l'OCHA a Ginevra e approdò infine ai quartieri generali di New York.

Guido Galli, tuttavia, desiderava 'lavorare sul campo', operando concretamente «per il rispetto dei diritti umani» (come ha ricordato sua madre) e per «proteggere chi subisce abusi o violenze da gruppi armati» (come disse lui stesso, parlando della sua missione in Afghanistan): così, nel 2007 colse l'opportunità di assumere l'incarico di *Political Affairs Officer* ad Haiti, dove purtroppo lo colse il terremoto.

Nel corso di un'intervista, parlando del suo lavoro nelle missioni umanitarie e di pace, Guido Galli ebbe anche modo di affermare che gli sembrava «tutto molto bello: è un po' come rifare l'Università, ma questa volta è l'Università della vita». Chi tra i colleghi e gli ex studenti della Facoltà lo ha conosciuto meglio, pensa che sia una frase che gli appartiene totalmente.

Dunque, la Scuola di Scienze Politiche "Cesare Alfieri", confermando il Premio a lui intestato, si è impegnata a mantenere vivo tra gli studenti il ricordo di Guido Galli, proprio perché si tratta di uno di loro, un ex studente la cui figura umana e professionale costituisce un'espressione particolarmente significativa dei valori caratterizzanti il peculiare progetto formativo sotteso ai vari Corsi di laurea triennale e magistrale afferenti alla Scuola.

Il Premio viene appunto assegnato annualmente ad una tesi di laurea, discussa a conclusione di uno dei Corsi di laurea magistrale della Scuola di Scienze Politiche, che affronti da un punto di vista internazionale temi economici, giuridici, politologici, sociologici o storici.

Possono presentare i loro lavori, entro il 31 gennaio di ogni anno, tutti coloro che hanno conseguito la laurea nell'anno precedente.

Una Commissione nominata dal Consiglio della Scuola, della quale fanno parte studiosi di ciascuna delle cinque anime disciplinari che caratterizzano la Scuola medesima, valuta le tesi presentate e assegna il premio, che consiste nella pubblicazione della tesi presso la Firenze University Press (FUP).

Con la pubblicazione del lavoro di Marzio Di Feo, *Automi, realtà virtuale e formiche. Un'analisi della complessità del fenomeno bellico spaziale*, prosegue quindi la collana "Premio Cesare Alfieri Cum Laude" presso la FUP. Il lavoro di tesi è stato svolto, in materia di Teorie della politica internazionale, nell'ambito del Corso di laurea magistrale in Relazioni internazionali e Studi europei, relatore il professor Luciano Bozzo.

## PREMESSA

Al centro di un affresco molto famoso di un artista molto famoso, situato all'interno della Stanza della Segnatura, sono presenti due figure altrettanto famose. La prima alla destra dell'altra punta l'indice della mano destra verso l'alto a voler indicare il cielo, le stelle, la volta celeste. L'altra distende il braccio destro, protendendo la mano in avanti, a ricordare che le idee prendono forma e si concretizzano nel particolare. La rappresentazione concilia con una tale bellezza e con una tale efficacia la contrapposizione delle due figure, punto di fuga, non a caso, dell'affresco, da renderla superiore di gran lunga alla parola scritta, sintetizzando e, insieme, elogiando lo sviluppo del pensiero sulla natura dell'uomo e dell'essere.

Le stelle e la formica. L'estremamente lontano, il cielo, e l'estremamente vicino, l'insetto più comune e facile da osservare abbassando lo sguardo in ogni dove. Questo ho cercato di rappresentare e persino di sintetizzare nel percorso qui proposto.

Quanto tale attività abbia subito il fascino di una certa concezione della complessità del mondo reale e di considerazioni generali sull'unità (e sulla diversità) di leggi in diversi ambiti di apprendimento è il frutto di una questione non facilmente risolvibile, figurarsi qui, ora, e per causa mia, ben rendendomi conto di quanto in salita sia il cammino che porta alla consapevolezza del necessario cambiamento nel modo di vedere le cose. Si tratta, ciò nonostante, di una riflessione che ha preso gran parte del tempo del mio studio, almeno quello relativo al periodo di ricerca e di scrittura di queste pagine, iniziato nel febbraio del 2014, e delle attuali meditazioni, spinto non dalla curiosità, che è perversione del sapere, ma dallo sforzo di non allontanarsi dall'oggetto.

Utili appunti di viaggio li devo in particolare a mio padre, che mi ha fatto notare opportune correzioni stilistiche, mentre alcune sterzate sono state date dal relatore professor Luciano Bozzo, i cui consigli hanno portato chiarezza nel percorso da seguire. Suggestivi e verifiche delle ipotesi del lavoro sono nati dallo scambio di opinioni avvenuto, in ordine sparso, con il professor Balducci, cui devo l'incontro nello stabilimento della Selex-Es di Campi Bisenzio, Sergio Attilio Jesi (Elettronica Spa),

Giampaolo Preti (Selex-Es), il professor Furio Cerutti, Paolo Proietti (Presidente del MIMOS), Giuseppe Tomasicchio (Thales Alenia Space), Chris Grogan (Space Data Association), William Winters (SMDC/ARSTRAT Future Warfare Center), il professor Paolo Nesi del DISIT Lab, che ha consigliato la maniera con cui eseguire l'integrazione dei due *software*, i rappresentanti di questi, Claudio Taraschi (VBS) e Filippo Gemma (STK), e il professor Robert Axelrod, il cui suggerimento di concentrarmi sulla perdita del segnale del dispositivo satellitare di localizzazione si è manifestato più puntuale e ampio di quanto credessi. A chi sopporta tutti i giorni le mie preoccupazioni e i miei dubbi devo più di quanto la parola scritta possa contenere.

È possibile ritrovare nel testo riferimenti alle letture che hanno accompagnato il mio continuo percorso di studio. Per ora ho cercato di aprire una breccia, molto c'è ancora da fare.

## LISTA DELLE ABBREVIAZIONI

ABM.....	Anti-ballistic Missile
ACCES.....	Army Command and Control Evaluation System
ACOMEX.....	Allied Command Operations and Oceanographic Information Exchange
AFSPACECOM.....	Air Force Space Command
AGI.....	Analytical Graphics Inc.
AI.....	Artificial Intelligence
ALEXIS.....	Array of Low Energy X-ray Imaging Sensors
AR.....	Augmented Reality
ARA.....	Advanced Research Associates
ARM.....	Anti Radiation Missile
ASAT.....	Antisatellite Systems
ASI.....	Agenzia Spaziale Italiana
BISim.....	Bohemian Interactive Simulations
BLOS.....	Beyond Line of Sight
BMD.....	Ballistic Missile Defense
BMDS.....	Ballistic Missile Defense System
BMS.....	Battlefield Management Systems
BSM.....	Battle Space Management
CAS.....	Complex Adaptive System
CCD.....	Charge-Coupled Device
CLS.....	Cislunar Space
CMOS.....	Complementary Metal-Oxide-Semiconductor
CNES.....	Centre national d'études spatiales
CNSA.....	China National Space Administration
COM.....	Component Object Model
COMINT.....	Communications Intelligence
COMSEC.....	Communications Security
CONOPS.....	Concept of Operations
COTS.....	Commercial-Off-the-Shelf
CWIX.....	Coalition Warrior Interoperability eXploration, eXperimentation, eXamination, eXercise
CWL.....	Continous Wave Laser

C2	Command and Control
C2IEDM	Command and Control Information Exchange Data Model
C3	Command, Control, Communications
C4I	Command, Control, Communications, Com- puters and Intelligence
C4ISR	Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance
C5ISR	Command, Control, Communications, Com- puters, Combat Systems, Intelligence, Surveil- lance and Reconnaissance
DAMA	Demand Assignment Multiple Access
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DEW	Direct Energy Weapon
DIS	Distributed Interactive Simulations
DISA	Defense Information Systems Agency
DLL	Dynamic Link Library
DMSP	Defense Meteorological Satellite Program
DoD	Department of Defense
DSAP	Defense System Application Program
DSP	Defense Support Program
EA	Electronic Attack
Ea.W.	Early Warning
ECCM	Electronic Counter-CounterMeasures
ECM	Electronic CounterMeasures
EDRS	European Data Relay System
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service
EHF	Extremely High Frequency
ELICIT	Experimental Laboratory for Investigating Col- laboration, Information-sharing, and Trust
ELINT	Electronic Intelligence
EMCON	Electromagnetic Emissions Control
EMI	Electromagnetic Interference
EMP	Electromagnetic Pulse
EMS	Electromagnetic Spectrum
ES	Electronic warfare Support
ESA	European Space Agency
ESM	Electronic warfare Support Measures
EURAC	European Air Chiefs Conference
EW	Electronic Warfare
FAI	Fédération Aéronautique Internationale
FORTE	Fast-on Orbit Recording of Transient Events

GCCS.....	Global Command and Control System
GEO.....	Geostationary Orbit
GEOINT/GIS/GSI.....	Geospatial Intelligence
GIG.....	Global Information Grid
GLONASS.....	Global'naja Navigacionnaja Sputnikovaja Sistema
GMTI.....	Ground Monitoring Target Indication
GNSS.....	Global Navigation Satellite System
GPS.....	Global Positioning System
GS.....	Global Strike
GTO.....	Geo Transfer Orbit
HEAT.....	Headquarters Effectiveness Assessment Tool
HEO.....	High-Earth Orbit
HF.....	High Frequency
HLA.....	High Level Architecture
HPM.....	High-Powered Microwaves
ICBM.....	Intercontinental Ballistic Missile
ICT.....	Information, Communications, Technology
IMINT.....	Image Intelligence
IP.....	Internet Protocol adress
IR.....	Infrarosso
ISA.....	Iranian Space Agency
ISA.....	Israel Space Agency
ISAS.....	Institute of Space and Astronautical Science
ISR.....	Intelligence, Surveillance and Reconnaissance
ISRO.....	Indian Space Research Organization
ISTAR.....	Intelligence, Surveillance, Target Acquisition and Reconnaissance
IT.....	Infrarosso Termico
IW.....	Information Warfare
I&W.....	Indications and Warnings.....
JAUS.....	Joint Architecture for Unmanned Systems
JAXA.....	Japan Aerospace Exploration Agency
JC3IEDM.....	Joint Command, Control and Consultation Information Exchange Data Model
JHU APL.....	Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory
KARI.....	Korea Aerospace Research Institute
KCST.....	Korean Committee of Space Technology
KH.....	Key-Hole
KKV.....	Kinetic Kill Vehicle
LaWS.....	Laser Weapon System
LEO.....	Low Earth Orbit
LOS.....	Lunar/Orbit Surface

LVC.....	Live, Virtual and Constructive
LWIR.....	Long-Wavelength InfraRed
MAD.....	Mutual Assured Destruction
MCC.....	Master Control Center
MEO.....	Medium Earth Orbit
MILSATCOM.....	Military Satellite Communications
MIP.....	Multilateral Interoperability Programme
MIRACL.....	Mid-Infrared Advanced Chemical Laser
MSAS.....	Multifunctional Satellite Augmentation System
MSLV.....	Microsatellite Launch Vehicle
MWIR.....	MidWavelength InfraRed
M&S.....	Modelling and Simulation
M2M.....	Machine to Machine
NASA.....	National Aeronautics and Space Administration
NATO.....	North Atlantic Treaty Organization
NCW.....	Network Centric Warfare
NEC.....	Network Centric Capability
NEMP.....	Nuclear Electromagnetic Pulse
NLES.....	Navigation Land Earth Stations
NNEC.....	NATO Network Centric Capability
NSA.....	National Security Agency
NSAU.....	National Space Agency of Ukraine
N2C2M2.....	NATO NEC C2 Maturity Model
N2P2K.....	NATO SATCOM POST2000
OODA.....	Observation, Orientation, Decision, Action
OPALS.....	Optical Payload for Lasercomm Science
OPSEC.....	Operation Security
ORBIMAGE.....	Orbital Image Corporation
PAC.....	Patriot Advanced Capability
PCMR.....	Probability of Correct Message Receipt
PGM.....	Precision-guided Munition
PHOTOINT.....	Photos Intelligence
PMESII.....	Political, Military, Economic, Social, Infra- structure, Information
PRORA.....	Programma nazionale di Ricerca Aerospaziale
PSD.....	Piano Spaziale della Difesa
PSYOPS.....	Psychological Operations
QoS.....	Quality of Service
RADINT.....	Radar Intelligence
RASCAL.....	Responsive Access Small Cargo Affordable Launch
RFSA/ROSCOSMOS.....	Russian Federal Space Agency
RIMS.....	Ranging Integrity Monitoring Station
RMA.....	Revolution in Military Affairs

RPD	Recognition Primed Decion Making
RTG	Radioisotope Thermolectric Generator
SA	Selective Availability
SA	Situational Awareness
SAR	Synthetic Aperture Radar
SAS	System Anlalysis and Studies
SATCOM	Satellite Communications
SBIRS	Space Based Infrared Syste
SBLS	Space-Based Laser
SDA	Space Data Association
SDI	Strategic Defense Initiative
SHF	Super High Frequency
SIGINT	Signals Intelligence
SSA	Space Situational Awareness
STANAG	Standardization Agreement
STK	Systems Tool Kit
SUDS	Sense, Understand, Dissiminate, Synchronise
TACSAT	Tactical Satellite
TCP	Transmission Control Protocol
TELINT	Telemetry Intelligence
TLS	Translunar Space
TT&C	Telemetry, Tracking and Command
UAS	Unmanned Aircraft Systems
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UGV	Unmanned Ground Vehicle
UHF	Ultra High Frequency
ULTRA-Vis	Urban Leader Tactical, Response, Awareness and Visualization
USAF	United Sttes Air Force
VBS	Virtual Battle Space
VHF	Very High Frequency
VIRCATOR	Virtual Cathode Oscillator
VSAT	Very Small Aperture Terminal
WAAS	Wide Area Augmentation Service
WMAP	Wilkinson Microwave Anisotropy Probe
WMD	Weapons of Mass Destruction
XML	eXtensible Markup Languague...



## INTRODUZIONE

Il mercurio in chimica si comporta quasi come un metallo nobile. Il suo maggior grado di reattività lo porta a formare un amalgama con altri metalli, con il più nobile di tutti, l'oro. Tale amalgama veniva usato per l'estrazione dell'oro dal minerale. Allo stesso modo, la strategia della guerra spaziale non ha ancora acquisito (e forse mai lo acquisirà) quel grado di nobiltà tale da essere considerata indipendente e autonoma dalla strategia degli altri ambienti operativi. Anzi, di solito, viene accumulata alle dottrine del potere aereo, terrestre o marittimo. Se, qui ed ora, ci si pone l'obiettivo di estrarre l'essenza della strategia spaziale, verrebbe naturale fonderla col pensiero *aureo* di Clausewitz, il padre della strategia, demolire gli idoli degli altri ambienti operativi e successivamente passare alla fase di costruzione teorica.

D'altronde, pensare a una teoria capace di porre dei criteri razionali al fenomeno bellico, di cristallizzare cioè dei principi adatti ai cambiamenti di un determinato periodo, pone un'esigenza interpretativa sulla ricerca di chiare e adeguate modellizzazioni del fenomeno. Questa priorità sembra ancor più determinante per l'analisi del fenomeno bellico nell'ambiente spaziale. Non appare fuori luogo qualificare lo spazio come l'ambiente operativo maggiormente subordinato al progresso tecnologico. Tuttavia, abbandonarsi a derive tecnicistiche è la malaugurata sorte di chi dimentica i fini della politica nella guerra e non considera la strategia come necessario elemento di unione tra le due. Non esistono proiettili d'argento né rapporti di dominio tra tecnica e mondo reale, ma processi evolutivi e gradualisti di adeguamento della guerra ai cambiamenti della società, dell'economia e della tecnologia. L'obiettivo qui è esaminare il fenomeno bellico spaziale nel suo rapporto complicato con gli altri ambienti operativi come cornice per l'analisi di un altro rapporto (ancora più complicato): quello tra uomo e macchina, tra azione sul campo di battaglia e dispositivo satellitare.

Il risultato dello studio non è un'*opera omnia* sullo spazio siderale, non un *magnum opus* sull'uomo e la macchina, né discute di astrofisica o di visioni futuristiche e sterili su prospettive più o meno azzeccate di forme di guerra nello spazio. L'intento è quello di dare un

contributo teorico alla comprensione del fenomeno bellico nello spazio extra-atmosferico nelle sue ricadute e nei suoi effetti sulla terra, ovvero di verificare il delta moltiplicatore dello spazio nelle sue capacità trasmissive e operative. Tale caratteristica non deve far pensare, comunque, allo spazio come un semplice mezzo di trasmissione: i dispositivi satellitari hanno acquisito notevoli capacità operative e divengono sempre più spesso oggetto di attacchi, le cui conseguenze hanno un impatto determinante per il raggiungimento del vantaggio strategico informativo.

La teoria di una strategia della guerra dello spazio è fortemente limitata da almeno due considerazioni. Da un lato, essa risente dei limiti e nella tecnologia e nella teoria della tradizione della corsa agli armamenti nello spazio extra-atmosferico così come si è evoluta durante la Guerra fredda (divergenza che si rispecchia nella semplice constatazione del salto qualitativo nato, ad esempio, dal fatto che mentre prima si parlava di 'cosmonauta', ora si parla di 'robonauta'). È facile immaginare come per i satelliti, che ora stanno attraversando una fase di rinnovamento, la qualità della trasmissione delle informazioni sia fortemente influenzata dalle capacità tecnologiche. E pensare che si prospetta la comunicazione quantistica satellitare, mentre sino a non molto tempo fa si temeva che il satellite potesse essere inutile a fini tattici, per le elevate problematiche trasmissive di istantaneità e velocità. Dall'altro, chiunque si sia interessato del binomio strategia-spazio è partito da considerazioni sull'analogie dell'ambiente spaziale con gli altri ambienti. A maggior ragione, qualora l'analisi fosse stata di natura geopolitica, lo spazio è stato accostato ora a un oceano nella similitudine dei punti strategici e delle linee di comunicazione con quanto scritto dall'ammiraglio Mahan, ora alla prosecuzione dell'ambiente aereo, in una sorta di miscuglio che celebra la validità del pensiero di Giulio Douhet o di Amedeo Mecozzi nella regione spaziale. Mentre è vero che la contiguità dell'ambiente aereo all'ambiente spaziale determina un certo grado di naturale complementarità operativa, ben raffigurata dall'immagine del dispositivo *Stratobus* della Thales Alenia Spazio, incrocio tra un dirigibile e un satellite, o tra un pallone aerostatico e un drone, alla stessa maniera è possibile affermare che lo spazio ha caratteristiche e peculiarità fisiche che ne tracciano il cammino verso l'indipendenza strategica. Questa è anche la ragione per cui qui di seguito quando si vorrà mettere in risalto tale complementarità si farà riferimento ad 'aereo-spazio' e non ad 'aerospazio': la separazione dei termini data dal trattino ne rimarca le differenze.

Il percorso verso una strategia del fenomeno bellico spaziale nasce dal raffronto con l'altro, dal risultato dell'interazione tra spazio e guerra terrestre nella disamina dei principi di strategia di Clausewitz, qui pietra edificatrice della costruzione teorica.

In altri termini l'analisi compiuta si propone:

- di esporre i tentativi teorici di comprensione della strategia di una guerra spaziale alla luce del pensiero strategico degli altri ambienti operativi, in particolar modo in rapporto al potere aereo; di indagare le definizioni di potere spaziale rimarcandone le falle e i punti di forza e esponendo le problematiche relative all'adozione di una teoria che tenga conto dei cambiamenti, della presenza di nuovi attori e delle caratteristiche dell'ambiente spaziale stesso;
- di aggiungere all'interno del dibattito teorico un forte riferimento al pensiero di Clausewitz e agli aspetti che più lo caratterizzano, ovvero al fattore umano sul campo di battaglia, e, insieme, di verificare tali considerazioni nelle dinamiche delle peculiarità fisiche dell'ambiente spaziale;
- di esaminare in maniera separata elementi di ordine e di caos nel fenomeno bellico spaziale (e terrestre) sotto la lente della teoria della complessità e di inserire l'osservazione del fenomeno nella cornice del ciclo informativo per la conduzione delle operazioni e la gestione del campo di battaglia;
- di proporre alcune riflessioni sull'opportunità e sui limiti della relazione tra linearità del fenomeno bellico spaziale e non-linearità della guerra terrestre, nella prospettiva di aumento considerevole di dati e informazioni necessarie alla conduzione delle attività belliche, nella funzione net-centrica dello spazio e nella distribuzione dell'*intelligenza* nelle operazioni, esponendo problematiche e soluzioni in tre distinti indirizzi di ricerca.

Una ripresa parziale del metodo baconiano è stata lo spunto per la suddivisione del lavoro in tre parti.

La prima parte (capp. 1 e 2) è dedicata alla distruzione degli *idola*. Nel primo capitolo, verrà passato in rassegna quanto sinora di rilevante costruito sulla teoria di una strategia spaziale e verrà fatto un primo richiamo all'opera di Clausewitz. Si evidenzieranno così alcune questioni relative a una definizione ampia di *spacepower* partendo dalle teorie del potere aereo (Boyd, Douhet, Mecozzi). La proiezione di quest'ultime potrebbero essere facilmente paragonate agli *idola fori*, ovvero a equivoci dovuti alla fallacia del linguaggio, dell'uso comune, ad esempio, del termine 'aerospazio' anziché 'aereo-spazio' o agli *idola theatri*, pregiudizi che troppo fortemente ci legano alle scuole del passato. La ricerca di elementi di peculiarità (non solo fisica) dell'ambiente spaziale è il tentativo che proporrà il secondo capitolo, dove per la prima volta verrà connotato, anzi paradossalmente delimitato, lo spazio come campo di battaglia, come ambiente operativo.

La seconda parte verrà dedicata all'osservazione dello stato dell'arte del fenomeno bellico spaziale. Nel capitolo 3, i dispositivi satellitari,

sentinelle dello spazio, saranno il perno intorno al quale ruoterà l'analisi della loro classificazione, del loro utilizzo strategico o tattico-operativo e delle innovazioni tecnologiche che si profilano nell'immediato futuro. Il capitolo 4 prenderà in esame tutti i possibili attacchi alle strutture spaziali, quindi, ai dispositivi satellitari e alla loro architettura. Risalto maggiore verrà dato ai cosiddetti 'attacchi invisibili', ovvero all'estensione della guerra elettronica e del campo elettromagnetico all'ambiente spaziale, che compie così quel processo da *medium* trasmissivo a trasmissivo e operativo. Uno studio di caso, la 'NATO NEC Over SATCOM', sarà il punto di partenza per sottolineare i cambiamenti che un corretto e completo espletamento dello spazio potrà apportare alla condotta delle operazioni (cap. 5). Costruire un'architettura spaziale per portare a compimento la costruzione di quel *system of systems*, che tutto sa e da cui tutto passa, è la condizione necessaria per donare alle unità sul campo di battaglia quelle informazioni necessarie alla digitalizzazione. Lo spazio diviene un'autostrada attraversata da una notevole quantità e varietà di dati il cui compito di trasmissione e di sintesi (se non di ri-elaborazione) sarà affidato ai dispositivi satellitari.

La terza parte si proporrà di dare una spinta alla costruzione di una teoria della strategia spaziale. La definizione della linearità del fenomeno bellico spaziale si contrappone alla natura complessa del fenomeno bellico negli altri ambienti operativi. La guerra è un frattale, dinamica non-lineare, che cerca nel fattore spaziale un punto di fuga dall'entropia, un'evasione dagli elementi che ne caratterizzano l'opacità nella robotica e nella tele-robotica, nel flusso continuo delle informazioni, nell'infrastruttura spaziale come garanzia di distribuzione dei dati di *intelligence* (cap. 6). Alcune implicazioni della teoria della complessità saranno il richiamo per una definizione olistica del fenomeno bellico che tenga presente della interazioni delle parti, ossia dello spazio e degli altri ambienti operativi. Questa interazione pone delle questioni sul processo di cambiamento del paradigma del comando centralizzato e esecuzione decentralizzata e sulle capacità di gestione della singola unità in un campo di battaglia digitalizzato e iper-connesso. Tre tentativi di abbattimento e di comprensione dell'imprevedibilità 'in laboratorio' del fenomeno bellico nel suo rapporto con l'ambiente spaziale verranno compiuti, ognuno rilevante e all'interno della teoria della complessità e negli Studi Strategici. Nel primo si evidenzieranno le caratteristiche delle capacità di adattamento (o di auto-organizzazione) che pone il fattore tecnologico alla conduzione del conflitto: essere *agilis* implica avere un certo rapporto di comunicazione e di sintesi con il dispositivo satellitare e con il sistema automatizzato, cioè con la macchina. Le capacità comunicative del dispositivo con altri dispositivi (*Machine to Machine*, M2M) o tra macchina e fattore umano ne riconsiderano la funzione nel campo di battaglia e evidenziano una certa evoluzione dell'*intelligenza* (artificiale), cui il primo passo è la nascita di

un linguaggio comune. Il secondo tentativo proporrà una simulazione con agente (o *avatar*) del rapporto tra dispositivo satellitare e conduzione delle operazioni. La realtà virtuale è sempre più spesso utilizzata come strumento di addestramento, di preparazioni all'incertezza della guerra, mentre la possibilità di ricostruire se stessi all'interno di questa pone dubbi sulla spersonalizzazione del singolo soldato nel fenomeno bellico. Per la simulazione sono stati scelti due *software* (STK e VBS3) usati per la fase di addestramento delle forze armate occidentali o per le simulazioni delle dinamiche del conflitto. La simulazione per la componente aerospaziale del settore difesa riveste un ruolo determinante, superando essa le difficoltà di verifica data delle peculiarità fisiche dell'ambiente. Il terzo tentativo, forse il più arditto, avrà come intento la comprensione del rapporto tra infrastruttura spaziale e azione sul campo di battaglia attraverso lo studio del comportamento emergente all'interno degli insetti sociali, in particolare tra le formiche. Lo *swarming*, l'agire in sciame anche in ottica di *swarmbot*, ovvero di azione in sciame dei mezzi automatizzati, è un aspetto fondamentale delle operazioni net-centriche e pone le basi per la distribuzione dell'intelligenza sul campo di battaglia come mezzo per prevedere e dominare l'incerto.

L'ultima sezione è dedicata alle note finali, dove si concluderà l'analisi, evidenziando gli elementi emersi dall'estrazione dell'anima metallica della strategia spaziale.



PARTE PRIMA

TEORIA



## CAPITOLO 1

### PARS DESTRUENS DELLA TEORIA DI UNA GUERRA AEREO-SPAZIALE: AIRPOWER VS. SPACEPOWER

Pusilla res mundus est, nisi in illo quod  
quaerat omnis mundus habeat.

L.A. Seneca, *Quaestiones  
Naturales*, Libro VII, 30, 5

Le dottrine debbono cominciare da quando  
cominciano le materie che trattano.

Giambattista Vico, *Scienza Nuova*  
Libro I, II *Degli Elementi*, cap. CVI

Nel metodo baconiano la *pars destruens* è dedicata alla ‘de-costruzione’ degli *idola*. I padri del pensiero strategico, gli strateghi del passato e i contemporanei, con le loro visioni teoriche sono la premessa necessaria per un tentativo di costruzione di una teoria del potere spaziale quanto mai confusa, contingente e complessa in quanto specchio del fenomeno bellico in generale. Il paragone di tale ambiente operativo con l’ambiente aereo e con le teorie del potere aereo va inteso non solo nella contiguità operativa, ma anche nell’effetto moltiplicatore che ha il primo sul secondo e nella caratteristica ‘interforze’ per operazioni terrestri, marittime e aeree del primo. In ultima analisi, verranno dati i primi spunti di ‘astro-strategia’ per una comprensione sistematica del fenomeno bellico spaziale e dell’importanza strategica dello spazio.

#### 1.1 Potere aereo, potere spaziale e strategia: l’aereo-spazio come endiadi tra unità operativa e complementarietà di ambienti

La componente aereo-spaziale della difesa rappresenta oggi per la sicurezza nazionale dei singoli Stati, in particolare per gli Stati militarmente più evoluti e dotati delle tecnologie più avanzate, un aspetto determinante. Le attività di telecomunicazione, osservazione terrestre, navigazione e localizzazione (GPS), sorveglianza, telerilevamento, le funzioni di *intelligence* come l’*early warning*, ovvero la capacità globale e permanente di lanciare un allarme tempestivo in caso di azioni aereo-terrestri dell’avversario, esplosioni nucleari o lancio di missili balistici<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> A.K. Maini, V. Agrawal, *Satellite Technology: Principles and Applications*, John Wiley & Sons Ltd, Chichester 2006, p. 536; vd. anche Assemblée Européenne de Sécurité et

ma anche i tentativi di sviluppo di nuovi sistemi di armamento dagli effetti altamente distruttivi, come le armi ad energia cinetica o le testate missilistiche ipersoniche o ancora armi supportate dallo sviluppo delle nanotecnologie nonché i collegamenti tra la guerra cibernetiche e le attività spaziali, rendono *a fortiori* i principali utenti dei sistemi aereo-spaziali gli assetti militari<sup>2</sup>.

Diviene, così, facilmente comprensibile quanto gli Stati siano interessati ai rapporti di forza sulla scena internazionale ai suoi riflessi nello sviluppo della componente aereo-spaziale<sup>3</sup>, caratterizzata dall'assenza di un accordo giuridico vincolante, ovvero dei necessari strumenti normativi in grado di dirimere eventuali controversie, discipline mai incoraggiate dagli stessi Stati, frutto della logica bilaterale della Guerra fredda quanto mai obsoleta nell'attuale sistema internazionale<sup>4</sup>. Tra *full spectrum*

de Défense, Assemblée de l'Union de l'Europe Occidentale, LVIII sessione, *L'espace militaire: les satellites d'alerte avancée et de renseignement élec-tromagnétique - Réponse au rapport annuel du Conseil*, Rapport présenté au nom de la Commission technique et aérospatiale par M. Yves Pozzo di Borgo, rapporteur (France, PPE/DC), 17 Giugno 2010, Document A/2071, p. 13.

<sup>2</sup> Per un'introduzione generale all'argomento si rimanda ai testi in lingua italiana: A. Traballesi, N. Cardinali, *Sviluppo tecnologico ed evoluzione della dottrina d'impiego del potere aerospaziale*, CeMiSS, Roma 2004; F. Borrini, *La Componente Spaziale nella Difesa*, collana Centro Militare di Studi Strategici, Rubbettino, Soveria Mannelli 2006; R. Rosanelli, *Le attività spaziali nelle politiche di sicurezza e difesa*, edizioni Nuova Cultura (collana "Quaderni IAI"), Roma 2011.

<sup>3</sup> H. Curien, *La conquête de l'espace*, in *Ramsès 2000. L'entrée dans le XXIe siècle*, Dunod – Institut français des relations internationales, Parigi 1999 (<<http://www.ifri.org/downloads/curien00.pdf>>, 09/2016).

<sup>4</sup> Il nucleo principale di diritto internazionale relativo alle attività spaziali è costituito dal trattato del 1967, denominato *Outer Space Treaty*, «sui principi che regolano l'attività degli Stati in materia di esplorazione ed utilizzazione dello spazio extra atmosferico, ivi compresi la Luna e gli altri corpi celesti». A questo vanno aggiunti cinque trattati: il *Limited Test Ban Treaty* del 1963 sul divieto di esperimenti e esplosioni nucleari nell'atmosfera terrestre e nello spazio esterno; lo *Astronauts Rescue Agreement* sul soccorso agli astronauti e la restituzione al paese di origine, ovvero allo Stato di immatricolazione, degli oggetti rientrati dallo spazio (1968); la *Liability Convention* del 1972 sulla responsabilità di uno Stato nel caso di attività che rechino danni a terzi; la *Registration Convention* sulla registrazione degli oggetti lanciati nello spazio (1975); il *Moon Agreement* del 1984 che stabilisce i primi regolamenti sullo sfruttamento delle risorse lunari. Vi sono poi i trattati che vincolano i soli paesi firmatari sulle attività spaziali militari, come i trattati Salt (*Strategic Armaments Limitations Talks*) 1 (1972), Salt 2 (1979), Start (*Strategic Arms Reduction Treaty*) del 1991, Start 2 (1993) che contengono delle clausole sulla verifica del rispetto dei trattati stessi attraverso l'uso dei satelliti di *early warning*, osservazione della Terra, ELINT (*ELectronic Signals INTelligence* sullo spionaggio di segnali elettronici) e SIGINT (*SIGnals INTelligent* sullo spionaggio di segnali elettromagnetici), e i trattati ABM (*Anti-Ballistic Missile*) del 1972 che vietava il dispiegamento di sistemi d'arma anti-satellite (ASAT), trattato a tutti gli effetti nullo dal 13 giugno 2002 a seguito del ritiro statunitense. Degni di menzione sono la normativa derivante da accordi internazionali in materia di controllo sulle esportazioni missilistiche e Chimiche, Batteriologiche, Radiologiche e Nucleari (CBRN), quale il *Missile Technology Control Regime* (MTCR) e il Codice di condotta dell'Aja contro

*dominance* (controllo, deterrenza e capacità di proiezione unilaterale nel campo di battaglia) della dottrina statunitense<sup>5</sup> e visioni multipolari di Russia e Cina, l'aereo-spazio sembra non essere destinato a fini meramente pacifici di esplorazione, a conferma di come il rapporto tra sviluppo tecnologico e potenza degli Stati sia sempre più stringente nella struttura internazionale odierna. Episodi come lo sviluppo di velivoli ipersonici da parte della Cina, testati con successo nel gennaio 2014<sup>6</sup>, in grado di raggiungere l'obiettivo con una capacità dieci volte superiore alla velocità del suono e di superare le difese aereo-spaziali e missilistiche ostili, evidenziano come la lotta per l'egemonia terrestre possa trovare in tale dimensione un fattore di vulnerabilità incredibilmente sensibile, immagina allo stesso tempo dei punti di forza e di debolezza propri e altrui.

la proliferazione dei missili balistici" (ICOC, o *Code of conduct against ballistic missile proliferation*, HCoC), che prevede l'obbligo di annuncio preventivo di un lancio missilistico. Mentre la disciplina sul settore delle telecomunicazioni riguarda, da un lato, i satelliti televisivi nella Risoluzione 37/92 adottata dall'Assemblea Generale delle Nazioni Unite il 10 dicembre 1982, sui «Principi che governano l'utilizzazione da parte degli Stati dei satelliti artificiali terrestri per la televisione diretta internazionale», e, dall'altro, sui satelliti per le telecomunicazioni nell'*International Telecommunications Union* (ITU) in materia di regolamento radio internazionale. Inoltre, la normativa in ambito ONU in riferimento alla Risoluzione delle Nazioni Unite 62/217 del 21 dicembre 2007 e alla Risoluzione 61/111 del 14 dicembre 2007 in merito alla cooperazione internazionale e all'utilizzo a scopi pacifici dello spazio in accordo con la Space Millennium – Dichiarazione sullo spazio e sullo sviluppo umano, firmata a Vienna nel 1999 nell'ambito della III Conferenza sull'utilizzo pacifico dello spazio UNISPACE III, e con la Risoluzione 54/68 che l'ha recepita, con la Risoluzione 59/2 del 20 ottobre 2004 e con il Piano d'Azione del Comitato per l'utilizzo pacifico dello spazio ha istituito tre organismi di notevole importanza: il Comitato per l'uso pacifico dello spazio (COPUOS, *Committee on the Peaceful Uses of Outer Space*), fondato nel 1959 con la Risoluzione 1472/14; la Piattaforma di informazione spaziale per la gestione dei disastri e la risposta alle emergenze (UN-SPIDER, *United Nations Platform for Space-based Information for Disaster Management and Emergency Response*); il Comitato internazionale per i sistemi globali di navigazione satellitare (ICGNSS, *International Committee on Global Navigation Satellite System*) sulla cooperazione nel settore del telerilevamento e della navigazione.

<sup>5</sup> Conosciuta anche con l'espressione *full spectrum superiority* viene definita dal Dipartimento della Difesa statunitense come «l'effetto cumulate del dominio aereo, terrestre, marittimo e spaziale e dell'ambiente informativo (che include il cyberspazio) che permette la condotta di operazioni di tipo *joint* senza opposizioni effettive o impedimenti tramite interferenze» (cfr. Department of Defense, *Dictionary of Military and Associated Terms*, 8 novembre 2010, in <[http://www.dtic.mil/doctrine/new\\_pubs/jp1\\_02.pdf](http://www.dtic.mil/doctrine/new_pubs/jp1_02.pdf)>, 09/2016). Circa le implicazioni future di tale dottrina vd. U.S. Department of Defense, *Joint Vision 2020*, in <[http://www.dtic.mil/doctrine/concepts/ccjo\\_jointforce2020.pdf](http://www.dtic.mil/doctrine/concepts/ccjo_jointforce2020.pdf)> (09/2016).

<sup>6</sup> Cfr. *China tests hypersonic missile vehicle*, «The Guardian», 16 gennaio 2014, in <<http://www.theguardian.com/science/2014/jan/16/china-tests-hypersonic-missile-vehicle>> (09/2016). Per una prospettiva di Studi Strategici sull'argomento, cfr. D. Barrie, *China's hypersonic test – behind the headlines*, «IISS», 30 gennaio 2014, in <<http://www.iiss.org/en/militarybalanceblog/blogsections/2014-3bea/january-1138/barrie-china-d0a8>> (09/2016).

Il rapporto tra potere aereo e potere spaziale è determinato da una così stretta correlazione che non è inusuale trovare nelle pubblicazioni scientifiche, così come nelle dichiarazioni dei *decision makers* e nella letteratura di genere, che il concetto di 'spazio' sia sostituito con il concetto di 'aereo-spazio' nell'intento di identificare il secondo come una mera continuazione del primo e rispondente a leggi e spunti teorici propri della dottrina del potere aereo<sup>7</sup>.

La labilità nei confini dei due ambienti operativi viene messa in risalto anche nella definizione, non a caso, di potere aereo che i Capi di Stato Maggiore delle Forze Aeree Europee hanno concordato, seppur in tempi non recenti, nel 2001, e riportato, poi, nell'*Eurac (European Air Chiefs Conference) Air Power Paper*, secondo la quale:

«il potere aereo è la capacità di proiettare e impiegare la forza militare nell'aria o nello spazio grazie o da una piattaforma aerea o un missile che operi al di sopra della superficie terrestre». In questa definizione, l'uso della forza deve essere compreso come insieme delle capacità militari dedicate a missioni di offesa o di difesa o, ancora, con conseguenze non distruttive in impieghi di riconoscimento o di supporto aereo. La definizione di piattaforma aerea comprende qualsiasi velivolo, elicottero, drone, assetto spaziale o satellite. Sempre di più, la terminologia ufficiale userà l'espressione potere aerospaziale per qualificare tale forma di capacità aerea e spaziale<sup>8</sup>.

Tale definizione viene fortemente confermata nella dottrina aerospaziale britannica, rimarcandone da un lato nettamente i confini e dall'altro precisando l'impossibilità di un loro motivo di esistenza con l'imminente e continuo progresso tecnologico.

In futuro, gli avanzamenti tecnologici e la ristrutturazione delle organizzazioni e dei processi operativi verosimilmente saranno capaci di assottigliare la linea di demarcazione tra ambiente aereo e ambiente spaziale, a tal punto che il concetto di potere aerospaziale esprimerà quanto meglio l'uso militare pervasivo e continuo nello spazio della terza dimensione. Fino al raggiungimento di tal punto, sarebbe meglio considerare il potere spaziale come entità separata, sebbene complementare

<sup>7</sup> Per un'analisi di tale questione si rimanda all'intervento introduttivo del Capo di Stato Maggiore dell'Aeronautica Militare Italiana, ruolo ricoperto dal 25 febbraio 2011 al 24 febbraio 2013, dal Generale di Squadra Aerea Giuseppe Bernardis, durante l'*Air Power Congress 2010*, Firenze, 11-12 maggio 2010, in <<http://www.aeronautica.difesa.it/News/Documents/pdf/discorso%20apertura%20CaSMA%20APC-Nazionale-verts%20FINALE.pdf>> (09/2016).

<sup>8</sup> *EURAC Air Power Paper. An European Perspective on Air Power*, Parigi 2001, in <<http://home.scarlet.be/~jansensa/EuracAirpower.pdf>> (09/2016).

al potere aereo, condividendo sì numerose sue caratteristiche ma in maniera differente e su scala assai diversa<sup>9</sup>.

La distinzione permette di identificare due ambienti sì simili ma con peculiarità fisiche diverse e in cui l'effetto moltiplicatore dell'uno sull'altro ne rendono necessaria la conduzione sinergica, in particolar modo, in prospettiva strategico-militare, ma anche a difesa dei sempre più importanti interessi della società civile come l'uso sempre più duale (civile/militare) dei satelliti<sup>10</sup>. I benefici indiretti e diretti del prestigio internazionale del vantaggio militare, i riflessi dell'innovazione e l'indipendenza tecnologica, il rafforzamento della difesa e della sicurezza nazionale, ossia la tricotomia tucididea di 'interesse/utilità (ὠφελία), paura (δέος), prestigio (τιμή)<sup>11</sup> e hobbesiana di 'competizione/guadagno (*competitio/competition*), diffidenza/sicurezza (*defensio/diffidence*), gloria/reputazione (*gloria/glorry*)<sup>12</sup>, hanno fatto sì che la partecipazione ad attività spaziali sia divenuta ormai un elemento indispensabile per qualsiasi Stato con ambizioni regionali o globali<sup>13</sup>.

Il confine posto tra i due ambienti operativi – corrispondente secondo l'USAF (*United States Air Force*) alla massima altezza di uso delle superfici aerodinamiche e di funzionamento dei cosiddetti motori *air breathing*<sup>14</sup>, circa 80 km di altezza, o secondo un'accezione negativa fino al minimo effetto dell'atmosfera sulla resistenza aerodinamica, in grado di impedire un volo suborbitale, ovvero il raggiungimento dell'orbita per compiere una completa rivoluzione, fino a 110-120 km di altezza, poco al di sopra

<sup>9</sup> Ministry of Defense, *Air Publication (AP) 3000 (4th Edition), British Air and Space Power Doctrine*, 2009, in <[http://www.raf.mod.uk/rafcms/mediafiles/9E435312\\_5056\\_A318\\_A88F14CF6F4FC6CE.pdf](http://www.raf.mod.uk/rafcms/mediafiles/9E435312_5056_A318_A88F14CF6F4FC6CE.pdf)> (09/2016).

<sup>10</sup> Si avrà modo di ritornare su tale questione nel capitolo 3.

<sup>11</sup> Tucidide, *La Guerra del Peloponneso*, a cura di E. Savino, Garzanti, Milano 2003, libro 1, cap. 75, 3, p. 47: «La forza insita nei fatti ci indusse in un primo tempo a ampliare fino a questo segno il nostro dominio, soprattutto per il [*timore*] ispirato dallo straniero, in seguito per il nostro [*decoro*], solo più tardi in vista del nostro *utile*» (ἐξ αὐτοῦ δὲ τοῦ ἔργου κατηναγκάσθημεν τὸ πρῶτον προαγαγεῖν αὐτὴν ἐς τόδε, μάλιστα μὲν ὑπὸ δέους, ἔπειτα καὶ τιμῆς, ὕστερον καὶ ὠφελίας, corsivo nostro).

<sup>12</sup> T. Hobbes, *Leviatano*, a cura di R. Santi, Bompiani, Milano 2001, cap. 13, pp. 6-7, 205-206: «So that in the nature of man, we find three principal causes of discord. First competition, secondly distrust, thirdly glory. The first makes men invade for gain; the second for safety; and the third for reputation».

<sup>13</sup> N. Peter, *Space Power and Its Implications. The Case of Europe*, «Acta Astronautica», LXVI (3-4), febbraio-marzo 2010, p. 350.

<sup>14</sup> Con tale espressione inglese ci si riferisce ai motori a gettito che utilizzano l'aria come ambiente comburente, il cui funzionamento utilizza l'accelerazione di una massa in una direzione per produrre una spinta nella direzione opposta per il terzo principio della termodinamica, secondo il quale non è possibile raggiungere lo zero assoluto tramite un numero finito di operazioni (ovvero di trasformazioni termodinamiche). Cfr. <<http://ulisse.sissa.it/chiediAULisse/domanda/2007/Ucau070219d001>> (09/2016).

della linea di Kàrmàn<sup>15</sup> (100 km), proposta dalla *Fédération Aéronautique Internationale* (FAI) come limite per la differenza tra aeronautico e astronautico, al di qua e al di là della linea – sembra alimentare questioni puramente di carattere arbitrario, e superflue per un esame ragionevole del fenomeno sia nella sfera teoria che meramente di valenza strategica. Il fatto, inoltre, che non vi sia ancora una definizione legale internazionale comunemente accettata che demarchi lo spazio di uno Stato con lo spazio esterno mette in risalto quanto la stessa questione rischi di diventare del tutto inefficace rispetto al continuo progresso tecnologico.

### 1.2 Le teorie del potere aereo: il Leviatano, Behemot e oltre

Se per il potere aereo-spaziale si sono riscontrate difficoltà nell'unicità delle definizioni, altrettanta diversità va riscontrata per il potere aereo, o *airpower*, ovvero l'utilizzo delle forze aeree per conseguire obiettivi strategici collegati alle finalità politiche del conflitto<sup>16</sup>. I tentativi di Giulio Douhet in Italia con il suo trattato *Il dominio dell'aria*, di sir Hugh Trenchard in Gran Bretagna, di Billy Mitchell e John Boyd e dei più recenti Robert Pape e John Warden negli Stati Uniti non hanno centrato quanto spettava alla sfera della politica, per riprendere una nozione clausewitziana, risultando così eccessivamente «apodittiche e dogmatiche»<sup>17</sup>, rendendone persino difficile la sua collocazione all'interno di una disciplina.

Il potere aereo, infatti, è un concetto a più dimensioni. Non ha solo una valenza strategica ma anche politica, commerciale e industriale. Né si contenta di rapportarsi alla sola finalità dell'attività di volo. È una sorta di mosaico composto di tasselli diversi... tutti finalizzati all'efficienza di uno strumento di governo e di guerra<sup>18</sup>.

Se le cause di tali difficoltà risiedano nel dilemma sull'autonomia dell'Aeronautica e sul suo apporto strategico, fondato perlopiù sul suppor-

<sup>15</sup> Dal nome dell'ingegnere e fisico ungherese naturalizzato statunitense Théodore von Kàrmàn (1881-1963).

<sup>16</sup> La diffusione del termine *airpower* è dovuta all'uso fatto da Aleksandr Nilolaevič Prokof'ev-Severskij, noto anche come Alexander de Seversky, nel suo bestseller *Victory Through Air Power*, Simon and Schuster, New York 1942, da cui un anno più tardi Walt Disney ne trasse un film-documentario di successo.

<sup>17</sup> C. Jean, *Manuale di Studi Strategici*, FrancoAngeli (collana "Centro Studi di Geopolitica Economica - CSGE"), Milano 2004, p. 245.

<sup>18</sup> C.M. Santoro, *Potere aereo, deterrenza e compellenza*, in *Italo Balbo - Aviazione e potere aereo*, Atti del Convegno Internazionale del Centenario della nascita, Roma, 7-8 novembre 1996, Aeronautica Militare, Roma 1998.

to a Marina e Esercito, oppure nella troppo recente storia di tale dottrina che non ha dato ampio margine alla formazione di una scuola strategica<sup>19</sup>, resta, tuttavia, immutata la differenza di spessore teorico rispetto al potere terrestre e a quello navale. Il dibattito sembra essersi riaperto dopo la prima Guerra del Golfo<sup>20</sup>, nota anche come ‘prima guerra spaziale’ per l’utilizzo di tale ambiente per le operazioni di guerra, e acuitosi dopo la guerra del Kosovo *in primis* per le sue peculiarità che darebbero alla presenza dell’Aeronautica in situazioni di crisi vantaggi di carattere spaziale e temporale dei concetti di deterrenza, compellenza e logoramento dell’avversario. Inoltre, la Rivoluzione negli Affari Militari (RMA, *Revolution in Military Affairs*) con quella che può essere considerato grazie al progresso tecnologico il suo ultimo stadio, la *network centric warfare*, ovvero l’integrazione di tutti i sistemi di informazione per mezzo di definizioni e utilizzo di standard comuni, e la crescente integrazione interforze hanno dato ampio risalto al confronto sul non elevato numero di rischi rapportato all’eccessiva fiducia, rivelatasi disastrosa per gli Stati Uniti nell’arma aerea in Vietnam. L’utilità delle operazioni aeree è stata, perciò, notevolmente accresciuta dall’elevata precisione delle armi e dalla capacità di limitare i danni e le vittime di un attacco, a tal punto che spesso viene accostato anche nel linguaggio comune, a torto o a ragione, l’aggettivo ‘chirurgico’ per evidenziarne l’accuratezza della precisione.

Il potere aereo si è rivelato così non solo un moltiplicatore di forze, anche dell’ambiente spaziale, ma anche una componente determinante del braccio operativo della strategia e, quindi, della politica. Le sue caratteristiche di flessibilità, di gradualità del suo utilizzo e di controllo contemporaneo delle quattro dimensioni spazio-temporali ha cambiato il modo di condurre la guerra, facendone lo strumento privilegiato della cosiddetta ‘diplomazia della violenza’, quasi come un passaggio di consegne della ‘politica delle cannoniere’ alla ‘politica del cacciabombardiere’: rispettivamente funzioni di deterrenza all’inizio della crisi e nella fase di attesa e agente di compellenza per il logoramento del nemico nelle prime fasi di attacco<sup>21</sup>.

<sup>19</sup> V. C. Jean, *Osservazioni sul potere aereo*, in Atti del Convegno Internazionale del Centenario della nascita, Roma, 7-8 novembre 1996, Aeronautica Militare, Roma 1998.

<sup>20</sup> Cfr. E.A. Cohen, *The mystique of US air power*, «Foreign Affairs», gennaio-febbraio 1994, pp. 109-124; V. Janushkowsky, *Developing Space Assets*, «Challenge and Response», agosto 1994, pp. 443-462; F. Gallegos, *After the Gulf War: Balancing Spacepower’s Development*, Maxwell AFB, School of Advanced Airpower Studies, 1995; S.T. Ganyard, *Strategic Air Power Didn’t Work*, US Naval Institute Proceedings, Annapolis 1995; D.N. Spires, *Beyond Horizons: A Half Century of Air Force Space Leadership*, Air Force Space Command, USAF, Peterson AFB 1997; C.J. Bowie et al., *The New Calculus: Analyzing Air Power’s Changing Role in Joint Theatre Campaign*, The Rand Corporation, Santa Monica 2003.

<sup>21</sup> Jean, *Manuale di Studi Strategici*, cit., p. 248.

Sulla falsariga del controllo del mare e delle linee di comunicazione marittime di mahaliana memoria, la possibilità di utilizzo della potenza aerea, e a fini strategici e come appoggio alle forze di superficie, richiede la conquista del dominio del cielo, o quanto meno di una superiorità temporanea.

Ora conquistare il dominio dell'aria vuol dire mettersi in grado di esplicitare contro il nemico azioni offensive di un tale ordine di grandezza, superiore a tutte quelle che mente umana poté immaginare; vuol dire mettersi in grado di tagliare l'esercito e la flotta nemica dalle loro basi, impedendo loro non solo di combattere, ma di vivere; vuol dire proteggere in modo sicuro ed assoluto tutto il proprio territorio ed il proprio mare da tali offese, mantenere in efficienza il proprio esercito e la propria flotta, permettere al proprio paese di vivere e di lavorare nella tranquillità più completa; vuol dire, insomma: *vincere*<sup>22</sup>.

Il 'dominio dell'aria' non è un fine ma un mezzo per conseguire la libertà d'azione e di impiego delle forze aeree, in modo da esplicitare da un lato gli obiettivi strategici legati per natura alle finalità politiche del conflitto e dall'altro gli obiettivi tattici in cooperazione con le altre forze. Di fatto, come nota il già citato Jean, risultati strategici possono essere raggiunti solo in caso di un 'attacco al leader' che abbia successo, ossia della sua eliminazione fisica<sup>23</sup>. La velocità d'intervento, la 'verticalità', la possibilità di controllare la graduazione della violenze a seconda delle esigenze politiche, l'annullamento dei limiti spaziali, la sottrazione prima che siano effettuati degli attacchi aerei alla presenza pervasiva dei media di massa, la bassa vulnerabilità degli aerei previa una scarsa capacità tecnologica avversaria, l'impiego dei velivoli non pilotati senza rischi di perdita di piloti e di aerei hanno di fatto tutti insieme consentito ai responsabili politici e militari una miglior gestione delle crisi e possibilità del tutto nuove per la risoluzione dei conflitti, in special modo nel caso di una 'guerra limitata'. La capacità di agente deterrente come potenza virtuale senza lo schieramento di forze sul campo di battaglia permette, poi, la non completa definizione di una 'strategia di uscita', a sostegno

<sup>22</sup> G. Douhet, *Il dominio dell'aria e altri scritti*, a cura di L. Bozzo, Aeronautica militare, Ufficio storico, Roma 2002 (I ed. 1932), p. 16, consultabile online all'indirizzo: <[http://www.liberliber.it/mediateca/libri/d/douhet/il\\_dominio\\_dell\\_aria/pdf/il\\_dom\\_p.pdf](http://www.liberliber.it/mediateca/libri/d/douhet/il_dominio_dell_aria/pdf/il_dom_p.pdf)> (09/2016).

<sup>23</sup> Jean, *Manuale di Studi Strategici*, cit., p. 247. Ne è conferma il caso dell'attacco nel novembre 2011 al convoglio su cui viaggiava il leader della rivoluzione verde libica Mu'ammarr Gheddafi o le dichiarazioni nell'autunno 1990 del Capo di Stato Maggiore dell'USAF, gen. Michael Dugan, relative alla presenza di aerei americani in Golfo con il solo intento di uccidere Saddam Hussein: in realtà, questo fu anche il pretesto per placare gli animi dei militari dopo l'integrazione interforze della riforma Packard.

della crescente reticenza delle opinioni pubbliche a dover sostenere gli oneri degli interventi militari.

A conferma di quanto sinora detto, è opportuno ripetere quanto tale potere, ovvero il dominio di tale ambiente operativo che consenta un libero impiego di un attacco aereo, non costituisce di certo la conquista del proiettile di argento che possa risolvere, teatralmente calato dall'alto come un *deus ex machina*, ogni situazione di crisi o di conflitto, bensì il suo dispiegamento va pur sempre connesso in qualità di capacità tecnico-operative, di visioni, finalità e linea d'azione politico-strategiche unitarie e interforze, per cui «chiunque assegni importanza alle operazioni terrestri e marittime deve necessariamente ricordarsi che sopra la terra ed il mare c'è l'aria»<sup>24</sup> e, sopra e insieme all'aria, lo spazio.

Le teorie del potere aereo hanno per la continuità geografica il maggior numero di elementi critici in comune con un esercizio del potere spaziale. A parte la questione dell'uniformità tra ambiente aereo e ambiente spaziale, cosa che li differenzia notevolmente dalla superficie terrestre, queste sono accomunate dalla caratteristica dell'abbattimento di ogni genere di limite fisico rendendone così globale l'esercizio della potenza dell'uno o dell'altro: ne sono esempio le attività globali di dominio aereo racchiuse nel concetto di *Global Strike Concept of Operations* (GSConOps)<sup>25</sup>. La caratteristica dei due ambienti operativi di raggiungere e di coprire un campo di battaglia, di fatto, senza limiti spaziali, come può considerarsi l'intera superficie del territorio dell'avversario, insieme alla capacità di ottenere e conservarne il dominio, li rende simili dal punto di vista d'impiego strategico. Così riguardo al concetto clausewitziano di Centro di Gravità (*centra gravitas*)<sup>26</sup>, inteso come «military, economic, political, and psychological levers of power»<sup>27</sup> avversari, a se-

<sup>24</sup> Tale affermazione è ripresa da Traballese e Cardinali, *Sviluppo tecnologico ed evoluzione della dottrina d'impiego del potere aerospaziale*, cit., p. 31.

<sup>25</sup> T. Withington, *Future Force. Changing how the USAF Goes to War*, «Combat Aircraft», VI (3), novembre 2004, pp. 62-67.

<sup>26</sup> Sull'importanza data dal padre della strategia occidentale a tale concetto, v. K. von Clausewitz, *Vom Kriege*, Dümmlers Verlag, Berlin 1832, libro VI, cap. 37 (*Della Guerra*, trad. it. di A. Bollati, E. Carnevari, Mondadori, Milano 1997 [I ed. 1970], pp. 641 ss). «Allo stesso modo che il centro di gravità si trova sempre là dove è maggiore è la massa, ed ogni urto contro tale centro ha la massima efficacia sull'insieme, e perciò l'urto più forte deve avvenire contro il centro di gravità, così deve avvenire in guerra»; e ancora: «Non pensiamo di aver inventato alcun nuovo procedimento: ma crediamo di aver spiegato i procedimenti di tutte le epoche e le idee di tutti i condottieri, con una concezione che getta una luce maggiore sulla loro correlazione colla natura delle cose».

<sup>27</sup> P.S. Meilinger, *Air Strategy Targeting for Effect*, «Aerospace Power Journal», XIII (4), 1999, p. 48.

conda dei casi, obiettivi militari ben definiti su un campo di battaglia<sup>28</sup> o infrastrutture civili o industriali, come per l'attacco aereo in Kosovo<sup>29</sup>, un'efficiente strategia aerea come un'efficiente strategia spaziale (in tale paragone va intesa la sua essenza) prevede un attacco mirato con l'intento primario di indurre una paralisi strategica del nemico, in modo da renderlo incapace di operare o controllare gli elementi sotto attacco<sup>30</sup>, o ridurlo all'impotenza<sup>31</sup>, cercandone di massimizzare gli effetti. Come per un pilota aereo, istruttore ed esperto di strategia, come John Boyd, la risoluzione di un conflitto consiste nella rapidità dell'attacco, sia dal punto di vista mentale che materiale, in quel processo chiamato ciclo di OODA o *OODA Loop*, Osservazione-Orientamento-Decisione-Azione<sup>32</sup> così tale processo vale ancor di più nella componente spaziale per sua natura moltiplicatrice, breve nell'attacco, secondo il principio di reazione-accelerazione.

Tale rapporto viene rafforzato nella scelta di 'cosa' e 'come' attaccare. Esso, infatti, dipende interamente dalla natura del nemico in tutti i suoi aspetti, inclusi i tratti psicologici, militari e politici, o meglio, per riprendere John Warden e la sua 'teoria dei cinque cerchi'<sup>33</sup>, rispettivamente dal centro: la leadership militare/civile, gli impianti produttivi, le infrastrutture, il morale della popolazione e le forze militari sul campo. Colpire la sua leadership vuol dire portare al collasso l'avversario.

In tal maniera, al fine di un raffronto tra i due ambienti, possono così essere riportate le caratteristiche circa le capacità operative in termini di: a) prontezza di risposta, ovvero i tempi necessari di risposta all'innescamento della crisi, siano essi politici o militari, con la possibilità di sfruttare l'effetto sorpresa; b) mobilità consistente nella facilità di proiezione della capacità bellica da, per e all'interno dell'area delle operazioni; c) flessibilità nel passaggio rapido da un ruolo difensivo a offensivo tale da consentire allo stesso tempo di contrastare o di porre una minaccia in un'ampia area geografica e di adattarla con facilità ai cambiamenti di circostanza e di situazione; d) versatilità del potere aereo incrementata, grazie agli avanzamenti tecnologici, dalla precisione degli attacchi, anche a una notevole distanza dal proprio territorio, dal raggio di azione e dalla capacità di risposta degli assetti aerei che permettono di concentrare nel

<sup>28</sup> R. Pape, *Bombing to Win*, Cornell University Press, Ithaca 1996.

<sup>29</sup> B.S. Lambeth, *NATO's Air War for Kosovo: A Strategic and Operational Assessment*, The Rand Corporation, Santa Monica 2001.

<sup>30</sup> D.S. Fadok (Lt. Col., USAF), *John Boyd and John Warden: Airpower's Quest for Strategic Paralysis*, «Joint Force Quarterly», XXXV, ottobre 2004, pp. 10-17.

<sup>31</sup> Cfr. von Clausewitz, *Della Guerra*, cit., Libro I, cap. 2, pp. 42 ss.

<sup>32</sup> Meilinger, *Air Strategy Targeting for Effect*, cit., p. 54.

<sup>33</sup> J.A. Warden III, *The Enemy as a System*, «Airpower Journal», 1995, pp. 41-55.

tempo e nello spazio il potenziale combattimento, al fine di conseguire gli obiettivi in un largo spettro di condizioni operative<sup>34</sup>.

Tali osservazioni non possono essere separate dai principali limiti dell'esercizio di questo potere. In primo luogo, l'elevato tempo di permanenza nella fase operativa, limitato da esigenze di rifornimento, di riarmamento e di cambio di equipaggio, aumenta sempre di più il numero delle missioni e, di pari passo, il livello di esposizione e i costi politici e militari. Le ridotte dimensioni dei carichi utili, poi, compensano solo parzialmente l'alto rateo delle sortite con un elevato grado di precisione e letalità del moderno armamento aria-terra. Seguono quindi gli elevati costi, dovuti anche allo sviluppo costante dalla ricerca nel campo tecnologico, che necessitano di un giusto bilanciamento costo-efficacia. Le condizioni di luminosità e meteorologiche che, nonostante gli effetti utili della tecnologia per attenuare le interferenze, costituiscono ancora importanti limitazioni e l'aumento esponenziale degli investimenti nelle capacità tecnologiche in maniera parallela all'aumento delle capacità di offesa e, quindi, alle capacità di porre contromisure per costruire o ristabilire la superiorità aerea sono anch'esse dei forti limiti al dominio in tale ambiente<sup>35</sup>.

Le teorie espone dell'utilizzo del potere aereo necessitano di una certa flessibilità per essere adattate all'ambiente spaziale. Un attacco diretto può essere condotto attaccando snodi o linee di comunicazione – nel caso di un attacco nello spazio ad esempio, i satelliti o i collegamenti con superficie terrestre anche attraverso un attacco elettromagnetico (es. *jamming*) – e, a causa del movimento incessante e dei problemi di sostentamento energetico, un contatto fisico potrebbe essere raggiunto in caso di difesa antimissilistica dall'intercettore, dopo il lancio del missile, uscendo dalla sua orbita e tentando la distruzione per impatto (*hit to kill*) – secondo il *modus operandi* Brilliant Pebbles di Reaganiana memoria che conta ancora numerosi sostenitori nelle pubblicazioni scientifiche statunitensi<sup>36</sup> – mentre lo sviluppo di nuove tecnologie, come l'uso di armi ad energia diretta, potrebbe notevolmente portare a riconsiderare le vulnerabilità strategiche degli assetti militari e civili, mettendo in discussione lo sovrapposizione di una teoria del potere aereo con una teoria del potere

<sup>34</sup> Cfr. Trabalesi, Cardinali, *Sviluppo tecnologico ed evoluzione della dottrina d'impiego del potere aerospaziale*, cit., pp. 36 ss.

<sup>35</sup> *Ibidem*.

<sup>36</sup> Ne è esempio uno studio di Gregory Canavan per l'*Heritage Foundation*, il quale sostiene che la tecnologia raggiunta negli anni Ottanta dal *Brilliant Pebbles* potrebbe essere la difesa più economica ed efficace contro un attacco nemico (<<http://highfrontier.org/wp-content/uploads/2013/07/Canavan-Heritage.pdf>>, 09/2016). Un'argomentazione simile, condizioni economiche a parte, è sostenuta da uno studio pubblicato nel luglio 2003 dell'*American Physical Society* (<<http://www.aps.org/policy/reports/studies/upload/boostphase-intercept.PDF>>, 09/2016).

spaziale. Separare la seconda dalla prima<sup>37</sup> non vuol dire, infatti, separare *de facto* le loro implicazioni strategiche, in particolar modo nelle cosiddette *joint operations*, bensì mettere in risalto le stesse rimarcando ancor di più il tratto peculiare delle attività spaziali<sup>38</sup>.

E se per riprendere una prospettiva schmittiana «non ci si può esimere dal pensare che oggi non solo sia stata acquisita una nuova, terza dimensione, ma che si sia aggiunto addirittura un terzo elemento, l'*aria*, quale nuova sfera elementare dell'esistenza umana» e che, pertanto, «ai due animali mitici, il Leviatano e Behemot, verrebbe quindi ad aggiungersene un terzo, un grande uccello»<sup>39</sup>, nuove questioni sul dominio dell'ambiente operativo nell'atmosfera e *a fortiori* nelle peculiarità fisiche dello spazio extra-atmosferico pongono problemi che forse nemmeno le caratteristiche della visione di un 'terzo mitico mostro' riescono a risolvere.

### 1.3 Una teoria del potere spaziale in nuce, o la rivincita di Mecozzi: *Where is the Mahan for the final frontier?*<sup>40</sup>

Il generale dell'aeronautica Amedeo Mecozzi è stato tra i primi ad intuire l'importanza che avrebbe avuto nella strategia aerea e nella strategia, in generale, l'utilizzo dei vettori come quelli messi alla prova dai tedeschi, i famosi V-1 e V-2, tra il 1942 e il 1944, (pre)inizio dell'era spaziale. Nel 1945, prima del lancio della bomba atomica, in un articolo apparso su «Rivista Aeronautica»<sup>41</sup> il generale aveva previsto il ruolo di arma assoluta del missile e la sua capacità di distruzione di massa che pochi anni addietro il suo 'rivale' Giulio Douhet aveva assegnato all'aviazione. A causa dell'avvento dei 'teleproietti' comandati via radio e capaci di effettuare il bombardamento a zona e a largo raggio, evitando ogni

<sup>37</sup> Tale tesi è sostenuta, tra gli altri, da Howar Kleinberg (Marshall Institute), Peter Hays (Space Policy Institute), Karl P. Mueller (RAND Corporation), Dennis M. Drew (Col. USAF), Charles Friedenstien (Lt. Col. USAF), Kenneth A. Myers (Col. USAF – dir. *Defense Threat Reduction Agency* e dell'*U.S. Strategic Command Center for Combating Weapons of Mass Destruction*), John G. Tockston (Lt. Col. USAF), mentre, in Italia, da Carlo Jean e dal col. Ferruccio Botti, opinioni contrastanti, ad esempio, con quelle espresse dal libro più volte citato di Alberto Traballese e Nazzareno Cardinali.

<sup>38</sup> D.H. Rumsfeld *et al.*, *Report of the Commission to Assess United States National Security Space Management and Organization*, 11 gennaio 2001 (D.H. Rumsfeld, S.A. Cambone, *Enduring Issues: The Space Commission 10 Years Later*, «High Frontier», VII (4), agosto 2011, pp. 3-8).

<sup>39</sup> C. Schmitt, *Land und Meer. Eine weltgeschichtliche Betrachtung*, 1942 (*Terra e Mare. Una riflessione sulla storia del mondo*, trad. it. di G. Gurisatti, Adelphi, Milano 2002, p. 108).

<sup>40</sup> «Where is the theory of space power? Where is the Mahan for the final frontier?» si chiede Colin Gray in C.S. Gray, *The Influence of Space Power upon History*, «Comparative Strategy», XV (4), ottobre-dicembre 1996, p. 307.

<sup>41</sup> A. Mecozzi, *L'aviazione diventa inutile?*, «Rivista Aeronautica», I-II-III, 1945.

difesa, non pare troppo provocatoria la prospettiva futura per la quale 'l'aviazione diventa inutile'; mentre durante la Guerra fredda l'aviazione strategica come unico vettore nucleare, ossia la concezione classica douhettiana della guerra aerea, ha avuto la meglio. I numerosi conflitti regionali sorti dopo il crollo del muro di Berlino hanno dato una spinta allo sviluppo del missile di media e lunga gittata, rendendo così il rapporto tra satellite spaziale e missile il nuovo *leitmotiv* strategico<sup>42</sup>.

Nonostante la corsa alla conquista dello spazio fosse ormai sorta qualche decade prima e il termine *spacepower* fosse già apparso nei primi anni Sessanta, una prima definizione formale di potere spaziale si ritrova per la prima volta nel 1988 nella nota pubblicazione *On Space Warfare. A Space Power Doctrine* di David Lupton, che lo intese sulla falsariga di Mahan, Mitchell e Arnold per il potere navale, aereo e terrestre, evidenziandone tre determinanti caratteristiche: a) gli elementi della potenza di uno Stato; b) i fini militari e non militari; c) i sistemi militari e civili<sup>43</sup>. «Il potere spaziale [*space power*] è la capacità di una nazione di sfruttare l'ambiente spaziale per il conseguimento di interessi e ragioni nazionali e include la totalità delle capacità aeronautiche della nazione stessa»<sup>44</sup>.

Qualche anno più tardi, durante l'*Air Space and Doctrine Symposium* (1994), il col. Robert Larned, all'epoca direttore dell'AFSPACECOM (*Air Force Space Command*), ha ampliato tale definizione: «il potere spaziale [*spacepower*] è la capacità di utilizzare gli assetti spaziali civili, commerciali e militari insieme alle infrastrutture a questi legate a sostegno della strategia di sicurezza nazionale [*National Security Strategy*]»<sup>45</sup>.

Il senso di inclusione verso la componente civile è stato racchiuso dall'espressione con la quale gli autori del paper *Space Power 2010* hanno inteso tale concetto: «il potere spaziale [*space power*] è la capacità di un attore statale o non-statale di raggiungere i propri traguardi e portare a compimento gli obiettivi prefissati in presenza di altri attori nello scenario globale attraverso il controllo e lo sfruttamento dell'ambiente spaziale»<sup>46</sup>.

Una sfumatura aggiuntiva di *space denial*, ossia il cercare di impedire al nemico l'utilizzo di tale dominio, è presente, invece, nella definizione più comunemente usata di Colin Gray nel suo noto articolo, *The Influence of Space Power Upon History* (1996): «il potere spaziale potrebbe

<sup>42</sup> Vd. Col. F. Botti, *Dalla strategia aerea alla strategia spaziale*, «Informazioni della Difesa», IV, 2000, pp. 38-48.

<sup>43</sup> D.E. Lupton, *On Space Warfare. A Space Power Doctrine*, Air University Press, Maxwell AFB 1988, p. 6.

<sup>44</sup> Ivi, p. 7.

<sup>45</sup> R.E. Larned, *1994 Air and Space Doctrine Symposium*, Air University Press, Maxwell AFB 1994.

<sup>46</sup> J.L. Hyatt et al., *Space Power 2010*, Air Command and Staff College, Maxwell AFB 1995, p. 5.

essere definito come la capacità di utilizzare lo spazio impedendo allo stesso tempo a qualsiasi nemico di fare altrimenti»<sup>47</sup>.

Lo stesso autore ha poi corretto il tiro, prendendo a prestito un'espressione di Johnsen per definire il potere terrestre, per cui il potere spaziale, quasi come ultimo gradino della RMA, che passa così da una fase «Airpower is the revolution» (RMA III) a «Space Power is the Revolution» (RMA IV)<sup>48</sup> in modo radicale e irreversibile, viene definito in ultima analisi come «la capacità in tempo di pace, di crisi o di guerra di esercitare una pronta e continua influenza nello spazio o dallo spazio»<sup>49</sup>.

Le evidenti difficoltà nelle definizioni di una teoria del potere spaziale oltre a essere figlie di una mancanza di riferimenti importanti, o meglio di un Mahan o di un Douhet per la frontiera finale, risiedono non solo nella breve storia di utilizzo di tale ambiente, ma anche nella quanto mai difficile impresa di esprimere e tradurre gli effetti di tale potere nelle sue implicazioni negli altri tipi di ambienti, ovvero sulla terra, sul mare e sulla componente aerea, senza considerare le attività di *intelligence*, o le ricadute civili del progresso militare-scientifico-tecnologico, mai così strettamente legate, o le influenze della politica o della sfera economica. Non si può in tal senso non considerarlo un *daunting subject*, una materia scoraggiante che può incorrere facilmente in determinismi tecnologici, distrazioni politiche, quali ad esempio i dibattiti sulla RMA o sulla *cyberwarfare*, oltre ai perenni pericoli di una teoria troppo dogmatica e meccanicistica<sup>50</sup>.

Anche la definizione data dal col. Ferruccio Botti – nata dalle critiche alla precedente di Colin Gray la quale risentirebbe, ed effettivamente risente, di una *contaminatio* tra i due concetti di 'potere' e 'dominio', quest'ultimo, a differenza del primo, prettamente militare – secondo la quale si potrebbe considerare il potere spaziale in quanto

complesso di fattori statici e dinamici di vario ordine (geografici, economici, industriali, tecnologici, morali, spirituali e militari) mediante i quali uno Stato o un insieme di Stati raggiunge la capacità di conquistare o mantenere, anche con mezzi militari, un grado di possesso e/o controllo dello spazio corrispondente agli interessi nazionali e/o di una coalizione<sup>51</sup>.

risente essa stessa, per i fini che il presente lavoro si propone, di un evidente difetto di logica del sillogismo aristotelico: infatti, se si prova a pro-

<sup>47</sup> Gray, *The Influence of Space Power upon History*, cit., p. 293.

<sup>48</sup> C.S. Gray, J.B. Sheldon, *Space Power and the Revolution in military Affairs*, «Airpower Journal», 1999.

<sup>49</sup> Gray, *The Influence of Space Power upon History*, cit., p. 307.

<sup>50</sup> J.B. Sheldon, C.S. Gray, *Theory Ascendant? Spacepower and the Challenge of Strategic Theory*, in C.D. Lutes, P.L. Hays (a cura di), *Toward a Theory of Spacepower. Selected Essay*, National Defense University Press, Washington DC 2011, cap. 15, p. 304.

<sup>51</sup> Col. F. Botti, *Guerra e Strategia dello Spazio*, «Informazioni della Difesa», II, 2001, p. 39.

cedere alla sostituzione di ‘spazio’ con ‘spazio aereo’, come nota lo stesso autore, si otterrebbe una definizione di potere aereo. Inoltre, ad una più attenta analisi, lo spirito collaborativo degli Stati nelle attività spaziali, più che in altri settori, ha le sue radici esclusivamente nel fattore tecnologico e tutt’altro in una manifestazione (o parvenza?) di uno spirito collaborativo, tant’è che sono sempre più accesi i dibattiti, ad esempio, sulla dipendenza statunitense dai Soyuz russi per i lanci futuri e attuali verso la Stazione Spaziale Internazionale<sup>52</sup>.

Nonostante la mancanza di una teoria comprensiva del potere spaziale, rimangono degni di nota i tentativi fatti da James Oberg e i suoi assiomi sullo *spacepower* in un’appendice del suo libro *Space Power Theory*, dal titolo emblematico *Truths and Beliefs*. Tra le caratteristiche e i principi del potere spaziale vi sono<sup>53</sup>:

- la principale caratteristica degli attuali sistemi spaziali risiede nell’ampio campo visivo della Terra<sup>54</sup>;
- corollario di tale caratteristica è che un veicolo spaziale è anch’esso nel campo visivo di una vasta area della superficie terrestre<sup>55</sup>;
- lo spazio è un medium ben distinto<sup>56</sup>;
- il potere spaziale di per sé è insufficiente al controllo degli esiti di un conflitto terrestre or per garantire il conseguimento di obiettivi politici terrestri<sup>57</sup>;
- il potere spaziale è stato sviluppato, per gran parte, senza la presenza diretta dell’uomo, rendendolo unico tra gli altri domini della potenza di una nazione<sup>58</sup>;
- competenze tecnologiche sono necessarie per il raggiungimento dello status di Potenza spaziale e, all’opposto, benefici tecnologici derivano dal raggiungimento di tale status<sup>59</sup>;
- come con gli ambienti operative legati ai confine terrestri, la militarizzazione [*weaponization*] dello spazio è inevitabile, benché modalità e tempi non siano facilmente prevedibili<sup>60</sup>;

<sup>52</sup> Cfr. National Space Society, *Position Paper: US Dependence on Russian Technology*, luglio 2014, in <[http://www.nss.org/legislative/positions/NSS\\_Position\\_Paper\\_Dependence\\_on\\_Russia\\_2014.pdf](http://www.nss.org/legislative/positions/NSS_Position_Paper_Dependence_on_Russia_2014.pdf)> (09/2016).

<sup>53</sup> J. Oberg, *Space Power Theory*, U.S. Government Printing Office, Washington DC 1999, p. 124.

<sup>54</sup> *Ibidem*.

<sup>55</sup> *Ibidem*.

<sup>56</sup> *Ivi*, p. 126.

<sup>57</sup> *Ivi*, p. 127.

<sup>58</sup> *Ibidem*. Controverse questioni potrebbero essere suscitate a proposito del *cyberspace*, che sembra essere trascurato da Oberg.

<sup>59</sup> *Ivi*, p. 128.

<sup>60</sup> *Ivi*, p. 129.

- il controllo situazionale [*situational awareness*] nello spazio è la chiave per un corretto e vantaggioso impiego del potere spaziale<sup>61</sup>;
- il controllo dello spazio è il cardine sul quale poggia lo sfruttamento dello spazio da parte di una nazione<sup>62</sup>.

I principi espressi da Oberg, tuttavia, non esprimono in maniera forte né il necessario collegamento tra interessi nazionali e capacità spaziali né la nuova natura degli attori non statali che avanzano in tale ambiente operativo.

E lo stesso vale per Everett Dolmann, con la sua guida strategica spaziale *Astropolitik* (2002), o per John Klein. In quest'ultimo, sebbene sia presente l'interessante concetto di «strategy analogy» per confrontare il pensiero di Sir Julian Corbett sul potere navale con quello spaziale, tali analogie perdono la loro spinta propulsiva proprio nelle loro contraddizioni e nelle loro differenze, che conducono a ragione l'intera logica in un vicolo cieco a conferma di quanto lo stesso autore scrive:

Lo spazio è un ambiente operativo unico, e qualsiasi struttura o contesto strategico storicamente supportato – sia navale, aereo o marittimo – non può di fatto essere applicato alla strategia spaziale. Solo i concetti più basilari [*most fundamental*] della strategia marittima, pertanto, saranno e dovrebbero essere usati per determinare i principi strategici della guerra spaziale<sup>63</sup>.

Altrettanto interessante è lo studio compiuto da Nicolas Peter che, per definire lo *space power* e conseguentemente una 'potenza spaziale', è partito da concetti di teoria delle Relazioni Internazionali, cari a Joseph Nye, di a) *hard power*: la capacità di utilizzo, se necessario, della forza; b) *soft power*: la capacità di influenzare il mercato globale in modo da far avanzare i propri interessi nazionali; c) *economic power*: la capacità di un attore di ottenere gli esiti desiderati nella politica internazionale dal momento che gli altri paesi ne ammirano i valori, lo prendono ad esempio, aspirano al suo livello di benessere<sup>64</sup>.

Affermando il passaggio dalla seconda fase spaziale (*Space 1.0*), che ha caratterizzato la competizione bipolare della Guerra fredda, alla fase cosiddetta *Space 2.0*, di prospettive di collaborazione in una scenario dove

<sup>61</sup> Ivi, p. 130.

<sup>62</sup> *Ibidem*.

<sup>63</sup> J.J. Klein, *Space Warfare: Strategy, Principles, and Policy*, Routledge, New York 2006, p. 20.

<sup>64</sup> Cfr. J. Nye, *The Paradox of American Power. Why the World's only Superpower Can't Go it Alone*, Oxford University Press, Oxford 2002.

poche potenze sono chiamate a partecipare, l'autore definisce quindi lo *spacepower* come

L'insieme delle forze e delle capacità di uno Stato di condurre e influenzare attività operative nello spazio, da questo o attraverso esso, per raggiungere i propri interessi e obiettivi (di sicurezza e militari, economici e politici) al fine di determinare gli esiti desiderati alla presenza di altri attori sullo scenario globale e, se necessario, di portare al mutamento del comportamento di questi tramite lo sfruttamento dei sistemi spaziali e delle infrastrutture terrestri a essi legate come livello politico conseguito<sup>65</sup>.

Non appare fuori luogo sottolineare come in presenza di una fase di passaggio ulteriore (lo *Space 3.0*) si stia andando ora verso una maggiore partecipazione anche di enti privati (es. Google) e con spese non elevate, con basi sempre più nel progresso scientifico come traino per implicazioni di carattere strategico-militare, come il lancio della costellazione di satelliti europea Galileo come sfida al GPS statunitense<sup>66</sup>.

Nella mancanza di una cornice comune<sup>67</sup>, nell'eccessivo pragmatismo e, talvolta, ortodossia degli autori sin qui citati, a fini esplicativi è rilevante rimarcare in maniera schematica in quali contesti vengano utilizzati e quali siano le capacità e i limiti dei sistemi spaziali in modo da poter giungere ad una definizione quanto più onnicomprensiva di 'potere spaziale'. Gli assetti spaziali, dunque, come in inizio di trattazione rimarcato, vengono adoperati in aree determinanti per la sicurezza, tra i quali i sistemi di lancio spaziali, i proiettili di massima precisione (PGM), le operazioni dei poligoni di lancio e le reti di controllo terrestri, le funzioni di comando, controllo, comunicazione, computer, *intelligence*, sorveglianza e ricognizione (C4ISR), la trasmissione dati a rischio attacchi cibernetici (*jamming* e *equipment disruption*), le comunicazioni satellitari (*SATellite COMMunications*), il pre-allarme di attacco missilistico, rilevamento e inseguimento dei lanci, la navigazione e tracciamento del percorso delle forze, la meteorologia e il supporto ambientale alle operazioni militari, la sorveglianza e il controllo dello spazio.

<sup>65</sup> Peter, *Space Power and Its Implications. The Case of Europe*, cit.

<sup>66</sup> È da notare come i lanci del quinto e del sesto satellite della costellazione Galileo siano stati rilasciati erroneamente in orbite più basse. In data 22 agosto 2014, l'ESA, la Commissione Europea e Arianespace, a capo del progetto, ha istituito, così, una commissione di inchiesta per verificare le cause dell'errore (<[http://www.esa.int/For\\_Media/Press\\_Releases/Soyuz\\_Galileo\\_Launch\\_injection\\_anomaly](http://www.esa.int/For_Media/Press_Releases/Soyuz_Galileo_Launch_injection_anomaly)>, 09/2016). A riguardo vd. cap. 3.

<sup>67</sup> Persino l'uso di una parola intera (*spacepower*) invece di due parole distinte (*space power*) per rimarcare l'unicità dell'arena spaziale non ha il più ampio consenso in dottrina.

Mentre gli elementi del potere spaziale comprendono i sistemi che operano nello spazio, il segmento terrestre per il tracciamento, il controllo e il trattamento dei dati provenienti dai sistemi in orbita, i sistemi di lancio per il posizionamento dei sistemi orbitanti, il personale che sovrintende alle operazioni, alla manutenzione ed al supporto dei sistemi e il collegamento tra il segmento spaziale e quello terrestre<sup>68</sup>.

Le principali capacità degli assetti spaziali sono la durata, la portata, la sicurezza e la precisione. La prima ha inizio a partire dalla collocazione nell'orbita, dove, mentre i sensori del sistema spaziale possono essere utilizzati per più anni, i satelliti e la loro struttura, soprattutto per quelli posizionati in orbita bassa, sono soggetti a degradazione e al 'collassamento', alla caduta dell'orbita stessa, contrastata spesso con l'energia disponibile a bordo. La portata globale è una delle caratteristiche dei sistemi spaziali: oltre ad essere soggetti alle limitazioni meteorologiche, la prevedibilità delle orbite permettono all'avversario di mettere in atto misure di mascheramento dei suoi assetti e limitano il tempo di osservazione e rivisitazione di un punto specifico. La sicurezza dei sistemi spaziali dipende dal rischio, assai poco elevato, di entrare nel raggio di azione di installazioni terrestri di difesa aerea, anche se in orbita bassa terrestre (*Low Earth Orbit*, LEO); ciononostante è necessario un monitoraggio continuo per evitare un attacco di un'arma antisatellite o di mezzi di disturbo alle operazioni spaziali. Infine, l'attività di supporto dell'ambiente spaziale permette di incrementare la precisione, a patto che la medesima precisione sia stata rispettata nel posizionamento in orbita delle piattaforme.

In maniera analoga alle considerazioni fatte sulle capacità dell'esercizio del potere aereo, limiti per il potere spaziale sono costituiti dalla tecnologia, in maniera ancor più stretta che per gli altri ambienti operativi, circa il legame indissolubile tra sviluppo del potere e della superiorità spaziale e innovazione tecnologica (dai sistemi d'arma al progetto di una missione, dal supporto spaziale per ottimizzare il ritorno delle componenti di un sistema spaziale all'importante quanto difficile raggiungimento dell'indipendenza tecnologica<sup>69</sup>), dai costi necessari per conseguire e mantenere un'attività spaziale (a tal proposito e in controtendenza, a titolo di esempio, basterà considerare che l'innovativo e 'poco costoso' lancio del luglio scorso della missione medio-piccola della NASA OCO2, ovvero di un esercito di minisatelliti dal peso di 450 kg per studiare come le piante riescano ad assorbire parte dell'anidride carbonica dell'atmosfera, è costata in totale 468 milioni di dollari, circa un milione di dollari al

<sup>68</sup> Cfr. Traballesi, Cardinali, *Sviluppo tecnologico ed evoluzione della dottrina d'impiego del potere aerospaziale*, cit., pp. 40-41.

<sup>69</sup> Per approfondire il rapporto tra strategia spaziale e tecnologia, vd. J.J. Klein, *The Influence of Technology on Space Strategy*, «Astropolitics: The International Journal of Space Politics & Policy», X (1), 2012, pp. 8-26.

kg, mentre una missione di simile portata costa, di solito, più del doppio<sup>70</sup>), dalle condizioni meteo e ostilità dello spazio extra-atmosferico possono limitare e la disponibilità e la qualità delle informazioni (mentre il vuoto, la polvere cosmica, le radiazioni e le cariche statiche sono le condizioni naturali e avverse dell'ambiente spaziale, e, di solito, le principali fonti e cause di danno per i sistemi spaziali), dai problemi legati al cambiamento dell'orbita attuabile solo in particolari stadi e con elevato consumo di propellente necessario, con una riduzione della vita operativa del sistema, e, infine, dalla disponibilità di basi di lancio nel proprio territorio nazionale accessibile via mare, collegata bene con il trasporto ferroviario per farvi giungere personale, equipaggiamenti e, soprattutto, il lanciatore (come *extrema ratio* resta la via aerea). Altri limiti sono connessi alla scelta della base di lancio: oltre al naturale obbligo di divieto di sorvolo della zona orbitale e i vincoli di azimut (la condizione di minor spreco di energia è quella di una base di lancio dall'equatore, con massima distanza dall'asse di rotazione terrestre, con azimut di 90° verso est, per sfruttare al massimo la forza centrifuga della Terra)<sup>71</sup>, quindi di orbita (ossia relativi al calcolo del lancio verso zone inabitate, come gli oceani e i deserti, per ovvie ragioni di sicurezza)<sup>72</sup>, possono costituire ulteriori vincoli la collocazione delle stazioni di terra che devono supervisionare la missione e la scelta temporale del lancio per ragioni di illuminazione e/o di temperatura<sup>73</sup>, mentre per i lanci interplanetari è necessario che

<sup>70</sup> Cfr. <<http://oco.jpl.nasa.gov/>> (09/2016).

<sup>71</sup> Essendo la rotazione terrestre da occidentale a orientale, tutto quello che si trova sulla superficie terrestre ha una velocità pari a  $v_1 = \omega R \cos La$  con  $\omega$  velocità angolare della Terra,  $R$  il raggio terrestre e  $La$  latitudine che corrisponde alla velocità iniziale del lanciatore con lancio con azimut 90° verso est. Per una base di lancio all'equatore ( $L = 0$ ) il contributo della rotazione terrestre è di 463,5 m/sec mentre per un lancio verso l'orbita polare esso si annulla. Esempi di basi di lancio con elevati contributi alla velocità sono Cape Canaveral (lat. 28,5 °N) con un contributo di 408,7 m/s, Wallops Island (37,9 °N) 367 m/s, Kourou nella Guyana francese (5,2 °N) 463,1 m/s, San Marco – Base spaziale Luigi Broglio di Malindi in Kenya (2,9 °S) 464,5 m/sec, Tyuratam in Kazakhstan (45,6 °N) 325,4 m/s, Tanegashima (30,2 °N) 402 m/s, Kagoshima la 'Napoli del Giappone' (31,2 °N) 397,8 m/s, Xichang in Cina (28,2 °N) 409,9 m/s. Cfr. Borrini, *La Componente Spaziale nella Difesa*, cit., pp. 109-110.

<sup>72</sup> Non rispettare in modo pedissequo tali obblighi può avere conseguenze catastrofiche a causa di possibili avarie o problemi nella fase di lancio o di ascesa: un incidente in volo il 15 febbraio 1996 di un lanciatore cinese CZ-2E dopo il lancio di Xichang ne causò la ricaduta su un villaggio provocando 6 morti e 57 feriti. Select Committee of the United States House of Representatives (3 gennaio 1999), *Satellite Launches in PRC: Loral*, U.S. National Security and Military/Commercial Concerns with the People's Republic of China, in <<http://www.house.gov/coxreport/body/ch6bod.html>> (09/2016).

<sup>73</sup> Tuttavia, vi sono anche altre curiose ragioni: dal poligono nipponico di Tanegashima, ad esempio, sono consentite le operazioni di lancio solo dal 15 gennaio a fine febbraio e dal 1 agosto al 15 settembre per non interferire con la prolifica attività di pesca degli abitanti del luogo (<<http://www.spacedaily.com/spacenet/text/fish.html>>, 09/2016).

la Terra e il pianeta di destinazione siano in determinate posizioni. Rilevante è anche la questione degli *space debris*, la cosiddetta 'spazzatura spaziale' costituita da tutto ciò che, creato dall'uomo, è rimasto e ruota intorno all'orbita della Terra, tra cui stadi di razzi, frammenti di satelliti, scaglie di vernici, polveri, materiale espulso da motori di razzi, i resti di liquido refrigerante del satellite nucleare RORSAT e altre piccole particelle: il numero elevato dei detriti in orbita bassa (LEO) – quelli più grandi di 20 cm sono più di 9 mila<sup>74</sup> – aumenta il rischio di una collisione creando a sua volta ulteriori detriti e incrementando esponenzialmente il rischio di nuove collisioni, in una sorta di effetto domino chiamato Sindrome di Kessler, dal nome del consulente della NASA che nel 1999 propose tale scenario<sup>75</sup>.

In conclusione una teoria comprensiva del potere spaziale dovrà contenere i seguenti aspetti: a) la capacità di utilizzo e di esplorazione dello spazio di un attore; b) la capacità di controllo dell'ambiente spaziale in tempo di pace, guerra o crisi internazionale; c) le peculiarità non solo fisiche dell'ambiente spaziale; d) gli obiettivi e la logica politica di una strategia spaziale; e) gli effetti di tale strategia, siano essi militari e di sicurezza, economici e politici, culturali e diplomatici, civili e commerciali; f) la capacità astronautica (e non aeronautica) di chi attua tale strategia spaziale (capacità e indipendenza tecnologica, situazione delle forze armate, spese per le attività spaziali, disponibilità basi di lancio)<sup>76</sup>; g) la possibilità che si possa trattare di un attore non-statale.

Quanto finora detto a proposito degli sviluppi di una teoria del potere spaziale, che si trova ora nel passaggio dall'infanzia all'adolescenza, talvolta non sembra aver completato ancora quel processo di transizione dall'interpretazione empirica all'interpretazione teorica, consentendo, per usare un'efficace metafora di Raymond Aron, l'apprezzamento di quella differenza che esiste tra una fotografia e un dipinto: «la fotografia mostra tutto quello che può essere visto a occhio nudo. Il ritratto non mostra tutto quello che può essere visto a occhio nudo, ma mostra una cosa che l'occhio non è in grado di vedere: l'essenza umana della persona che serve da modello»<sup>77</sup>.

<sup>74</sup> Cfr. <[www.esa.int/ita/ESA\\_in\\_your\\_country/Italy/I\\_detriti\\_spaziali](http://www.esa.int/ita/ESA_in_your_country/Italy/I_detriti_spaziali)> (09/2016).

<sup>75</sup> Il rischio è talmente percepito dagli operatori che nel 1993 è stata creata un'organizzazione internazionale sotto l'egida ONU, *Inter-Agency Space Debris Coordination Committee* (IADC, Comitato inter-agenzia per i detriti spaziali). Una versione fantascientifica della Sindrome di Keller è entrata nello scenario popolare grazie al film del 2013 di Alfonso Cuarón, *Gravity*, che narra della reazione a catena dell'abbattimento di un satellite spia con un missile.

<sup>76</sup> Cfr. U. Rubin, *The Global Reach of Iran's Ballistic Missiles*, Memorandum n. 86, Institute for National Security Studies, novembre 2006.

<sup>77</sup> R. Aron, *Paix et Guerre entre les nations*, Calmann-Lévy, Paris 2008 (I ed. 1962), p. 15.

Talvolta sembra, invece, che l'interpretazione teorica si sia spinta troppo in là perdendo contatto con la realtà dei fatti, quasi come metafora del continuo perpetuarsi dello scontro tra empirismo militare e interpretazione politica.

Vi è il rischio, così, di perdere e l'utilità di una teoria per la strategia e la logica della strategia in generale, che risiede interamente nel fattore politico, mentre per ora sullo scopo della teoria basterà ricordare, a proposito di Corbett, come egli stesso lo definì:

È un processo grazie al quale noi coordiniamo le nostre idee, definiamo il significato delle parole da noi utilizzate, cogliamo la differenza tra fattori essenziali e superflui, e sistemiamo e esponiamo i dati fondamentali sui quali ognuno è d'accordo. In tal maniera prepariamo l'apparato della discussione pratica, rendiamo sicuri gli strumenti attraverso i quali adattiamo agevolmente i fattori e deduciamo da questi con precisione e rapidità un pratico percorso di azione. Senza tale apparato persino due uomini non potrebbero pensarla alla stessa maniera pur da una stessa prospettiva; ancor meno possono pensare di scindere il punto esatto della controversia e isolarlo per una pacifica soluzione<sup>78</sup>.

Per rispondere alla domanda tanto cara a Colin Gray che ha dato il titolo al paragrafo – seppur d'accordo con Bran R. Sullivan<sup>79</sup> sulla superiorità di visioni di carattere principalmente politico-sociali clausewitziane rispetto a quelle basate sulle prestazioni materiali come la flotta navale per Mahan o il missile per Mecozzi o ancora l'aeroplano da bombardamento di Douhet, e di fronte al rischio di perdita di valore o di incomprendimento di un così ancora inspiegato potere come quello spaziale – va sottolineato come la facilità con cui vengono proscritte le teorie dei più recenti citati strateghi non tiene conto della componente relativistica di ogni espressione teorica e di quanto, ad esempio, lo spazio trovi nuovo terreno fertile di pari passo con le scoperte tecnologiche, con gli imperativi politici del momento e, non da ultimo, con lo sviluppo di una 'coscienza umana' spaziale.

<sup>78</sup> J.S. Corbett, *Some Principles of Maritime Strategy*, a cura di E.J. Grove, Naval Institute Press, Annapolis 1988, p. 7.

<sup>79</sup> B.R. Sullivan, *Usi e abusi dei sistemi bellici spaziali*, in Italo Balbo – *Aviazione e potere aereo*, Atti del Convegno Internazionale del Centenario della nascita (Roma, 7-8 novembre 1966), cit. Considerato quanto sopra espresso minore sintonia si ritrova in alcuni passi fin troppo dogmatici dell'autore: «Le idee di un pensatore come Mahan o Douhet sull'applicazione della forza militare spaziale potrebbero essere solo false o equivoche»; o ancora: «Io spero che nessun Mahan o Douhet della forza spaziale emerga per impedire agli Stati Uniti o ai loro alleati di comprendere la confusa, complessa, contingente e enigmatica natura della guerra». Citazioni riportate anche in col. Botti, *Guerra e Strategia dello Spazio*, cit., p. 37.

Il tentativo del presente lavoro di richiamarsi ai classici del pensiero strategico in generale e, nel caso specifico, al *Vom Kriege* del generale Karl von Clausewitz (come se il Mahan di una strategia spaziale andasse cercato guardandosi indietro, così come, in misura diversa, alle similitudini e alle visioni del potere aereo di Douhet o di Mecozzi) viene giustificato dalla ricerca di un baluardo e di un riferimento teorico quanto mai solido, al fine di un'estetica della strategia spaziale capace di descrivere la presenza e l'ambiente dominato da un 'nuovo mostro' di schmittiana memoria<sup>80</sup>.

### 1.3.1 Principi clausewitziani di una strategia dello spazio

L'attività di trovare o, quanto meno, di ricercare delle analogie tra principi clausewitziani e guerra spaziale non rappresenta un mero gioco d'intelletto né un inutile sforzo della ragione, bensì si pone come obiettivo la creazione di una cornice per l'indipendenza teorica della strategia spaziale, in particolare rispetto alle dottrine del potere aereo, ossia di una cornice volta a incarnare quella *pars destruens* baconiana determinante per procedere alla *pars costruens* di una teoria della guerra spaziale vera e propria.

Tra gli altri, Colin Gray<sup>81</sup> ha elencato otto capisaldi concettuali che riprendono gli assiomi del generale prussiano dai quali potrebbe aver luce l'inizio di una teoria del potere dello spazio. Il primo, riprendendo il rapporto clausewitziano di grammatica della guerra e logica della politica, rafforza tale principio anche per la guerra nello spazio. La guerra spaziale è così un altro frammento del complesso politico, un altro strumento a disposizione del lavoro politico. Viene rafforzata parimenti anche l'importanza dei centri di gravitazione del nemico. Le forze spaziali, infatti, aumentano notevolmente le capacità di colpire i centri vitali di un Paese, sia in un'ottica interforze, come moltiplicatrici delle altre componenti della difesa, sia nel loro utilizzo singolo. Altro principio cardine risiede nell'attrito: tutte le azioni in guerra avvengono in un clima di incertezza, in una nebbia fatta di caso e di attrito, così il potere spaziale mentre, da un lato, attacca parte dell'attrito che ostacola le operazioni sugli altri ambienti, dall'altro, e all'opposto, anche nello spazio ogni azione è un movimento in un mezzo resistente. Nel suo quarto punto Colin Gray

<sup>80</sup> È curioso quanto interessante notare come nell'*US Military Space Reference Text* (ed. 2006) vengano presi come riferimento teorico autori come Aristotele, Copernico, Keplero, Newton, Konstantin Tjolkovsky, Robert Goddard, Hermann Oberth, Arthur C. Clarke, Wernher von Braun, Gen Bernard Schriever, Dwight D. Eisenhower, mentre non si fa nessun riferimento ai classici del pensiero strategico.

<sup>81</sup> Gray, *The Influence of Space Power upon History*, cit. Per una critica a tale posizione vd. col. F. Botti, *La guerra spaziale. Caratteri e limiti*, «Informazioni della Difesa», V, 2000, pp. 42-49.

sottolinea come la comprensione dell'evento bellico nella sua interezza e nella sua evoluzione dinamica – che porta con sé unità di comando e unità, o meglio sinergia a più livelli, degli sforzi – rimarchi il fenomeno bellico sia in tutte le sue componenti come impresa collettiva (unità della guerra). Così, la politica rappresenta il fattore 'intelligente', mentre la guerra non è che lo strumento: è compito dei responsabili politici e degli strateghi militari capire la vera natura e le opportunità che può fornire il dominio spaziale. Da qui la necessità di unità dello scopo con la gamma dei mezzi militari da impiegare, anche nell'ambiente spaziale (scopo e mezzi della guerra). La concentrazione nelle forze nel punto decisivo determina il successo sul campo di battaglia, a sua volta determinato dalla capacità di realizzare una superiorità schiacciante in un punto decisivo, anche nelle operazioni militari nello spazio. Ultima considerazione va fatta circa la superiorità della difesa nell'ambiente spaziale. Essa, a parità di mezzi, è la più forte della due forme di guerra per sé e considerato lo scopo: «è più facile conservare che guadagnare»<sup>82</sup>. Nello spazio tale assioma è tanto più valido quanto più aumentano le distanze e il fattore tempo, ovvero essa risulterebbe la forma più valida in orbite terrestri medio-alte ma non nelle orbite basse.

Non sembra un'impresa ardua racchiudere gli otto punti appena citati, *latu sensu*, nella naturale constatazione che la guerra ha una sua unità e una sua logica figlia dell'attività politica, che ne incarna essa stessa la natura, che la guerra spaziale come elemento dell'intero complesso bellico è anch'essa un mezzo della politica e che il connubio politica-strategia deve essere a conoscenza nonché padrone anche di questo nuovo linguaggio.

Mentre le operazioni militari che coinvolgono in parte lo spazio sono soggette ad attrito, al caso e all'incertezza come qualsiasi attività bellica, la preponderanza del fattore tecnologico, riducendo il numero di attività compiute dall'uomo, diminuisce tale situazione sfavorevole: da un lato la strategia spaziale sembra sempre più realizzare l'antica aspirazione che vuole una crescente capacità sostitutiva della macchina con l'uomo, teorizzata tra gli altri dai sostenitori positivisti dell'Artiglieria come Andrea Zambelli, dall'altro l'intuito dell'uomo non sembra aver perso la centralità in situazioni di stress, di Comando e di Controllo (C2), di gestione della crisi e delle operazioni (*Battle Space Management*, BSM), benché non sia del tutto convincente una trasposizione dell'importanza clausewitiziana del fattore morale nell'ambiente spaziale (tale tematica sarà trattata in maniera approfondita nei capitoli 6 e 7)<sup>83</sup>.

<sup>82</sup> von Clausewitz, *Della Guerra*, cit., libro VI, cap. 1, p. 444.

<sup>83</sup> Vd. D.R. Baucom, *Clausewitz on Space War: An Essay on the Strategic Aspects of Military Operations in Space*, Biblioscholar, 2012. In particolare le considerazione che l'autore fa in merito alla virtù nel contesto della guerra nello spazio (p. 9), «[...] nella guerra spaziale, gli esseri umani si sposteranno ad un minimo di 100 miglia dal lu-

Circa la concentrazione delle forze nel punto decisivo, così come inteso, ovvero come raggiungimento in questo di una forza schiacciante, sembra riferirsi al principio che lo svizzero Antoine de Jomini presenta come punto centrale e sempre valido della strategia piuttosto che al *Vom Kriege*, vista l'importanza che il generale prussiano assegnava al fattore numerico, mentre nell'ambiente spaziale la agognata superiorità è qualitativa e non quantitativa:

[...] si deve ammettere che essa [*la superiorità del numero*] costituisce il fattore più importante per il risultato di un combattimento; soltanto deve essere sì grande da neutralizzare l'azione di tutte le circostanze concomitanti.

In conseguenza, bisogna riunire sul punto decisivo e impegnare nel combattimento il maggior numero possibile di truppe<sup>84</sup>.

Anche l'ultimo punto, sull'importanza della difesa, come sottolineato in una critica a tale posizione compiuta dal col. Ferruccio Botti, dà adito a molti dubbi. Basterà ricordare dal punto di vista teorico che Clausewitz, come maggior interprete delle guerre napoleoniche, non ha mai inteso l'azione risolutiva della difensiva per il raggiungimento della vittoria, ma anzi è stato un 'convinto paladino' della rapida offensiva, o meglio della controffensiva. Tre sono, a suo avviso, infatti, gli elementi di vantaggio decisivo che producono la vittoria: la sorpresa, il vantaggio offerto dal terreno, l'attacco da più lati. L'attaccante ha a suo favore soltanto una piccola parte del primo e del terzo principio, mentre il secondo e le restanti parti sono a favore del difensore<sup>85</sup>. È da considerare poi che l'ambiente spaziale è, per sua stessa natura, *res nullius*, ambiente ostico e difficile da controllare, tanto meno da 'dominare' – come si è ricordato sopra, venendo a cadere una componente fondamentale dall'aspetto della difensiva – né tanto meno si qualificherebbe come *milieu* politico-sociale dove possono prosperare altre forme di difesa come la guerriglia.

A titolo di esempio, basterà fare una considerazione sulle vicende del non realizzato 'scudo spaziale' statunitense degli anni Ottanta. Questo avrebbe raggiunto la superiorità difensiva soltanto a due condizioni

go del combattimento effettivo. La "morte" diverrebbe ora la distruzione dell'assetto spaziale, e tale sterile e freddo evento potrebbe esser "percepito" solo attraverso dati elettronici inviati al monitor di comando. In tali condizioni, cosa ne sarà di quanto scritto da Clausewitz. "La guerra è il luogo del pericolo: di conseguenza il coraggio è la prima qualità del guerriero"? Durante una guerra spaziale, la paura e la condizione di stress tradizionalmente associate con il combattimento potrebbero essere rimpiazzate solamente con qualcosa di simile alla condizione di agitazione durante le fasi di gioco di un videogame».

<sup>84</sup> Von Clausewitz, *Della Guerra*, cit., libro II, cap. 8, p. 202.

<sup>85</sup> Ivi, libro VI, cap. 2, pp. 448-451.

strettamente necessarie: un'impossibile impermeabilità certa e assoluta, la contemporanea eliminazione delle armi offensive nemiche, secondo la logica del perché conservare una capacità di offesa spaziale di fronte alla inutilità dei missili sovietici<sup>86</sup>. Lo scudo spaziale sarebbe divenuto soltanto una premessa per una prevedibile controffensiva non potendo mai renderlo impenetrabile in uno scontro nucleare, venendo così meno alla stessa logica che lo sottende<sup>87</sup>.

L'importanza di neutralizzare l'avversario ha fatto prevalere l'aspetto delle prestazioni del fuoco e della panoplia di armamenti sul movimento, mentre la preparazione, l'organizzazione e il materiale – nella rivisitazione del concetto di *science du logis* del summenzionato Jomini, intesa come «funzione di alloggiare o accampare le truppe, di dirigere le colonne, di posizionarle sul terreno»<sup>88</sup>, di organizzare e preparare la difesa e l'attacco in un conflitto spaziale, ossia i fattori materiali che identificano la guerra nello spazio, in generale – sembrano qualificare meglio una strategia spaziale rispetto alla visione troppo spiritualistica di Clausewitz.

La 'distruzione', o la 'de-costruzione', degli otto principi della teoria di Clausewitz determina non l'inutilità dello sforzo fin qui compiuto, ma una minore incidenza, per ora, di tali principi nell'ambiente spaziale di fronte alla preponderanza della componente tecnologica sia per gli aspetti più spiritualisti della teoria finora visti, sia per l'evidenza di altri principi, come l'attrito e il *milieu* spaziale come *centra gravitas* e effetto moltiplicatore nonché la predominanza della logica politica e insieme la necessità di un riferimento ai classici del pensiero strategico, come semina per procedere a future fioriture di formulazioni teoriche.

### 1.3.2 I punti strategici

Lo spazio per le caratteristiche fisiche che lo contraddistinguono ha delle peculiarità che suscitano un certo interesse anche dal punto di vista strategico, dei 'punti strategici', per utilizzare ancora un'espressione cara a Jomini, dovuti alla particolare configurazione dell'ambiente.

Tra essi va annoverata *in primis* la rilevanza strategica delle linee di comunicazione tra il satellite o l'eventuale sistema d'arma (es. PGM) e la stazione di terra, linee esposte ad elevata vulnerabilità. Possono essere considerati, ad esempio, punti focali nelle linee di comunicazione, o per dirla con l'ammiraglio Mahan, dei *chockepoint*, le orbite di trasferimento alla Hohmann. Queste, scoperte dall'ingegnere tedesco Walter Hohmann, permettono a un satellite artificiale il passaggio, a basso con-

<sup>86</sup> Cfr. Col. Botti, *La guerra spaziale. Caratteri e limiti*, cit., p. 45.

<sup>87</sup> *Ibidem*.

<sup>88</sup> B.A.H. de Jomini, *Précis de l'Art de la Guerre*, Anselin, Paris 1837.

sumo, da un'orbita circolare a un'orbita circolare complanare e confocale alla prima (come il comune trasferimento, denominato GTO, *Geo Transfer Orbit* e dalla durata di circa cinque ore, da un'orbita LEO a una geostazionaria). Anche la stessa orbita geostazionaria (*Geostationary Orbit*, GEO, denominata anche Fascia di Clarke, come lo scrittore di fantascienza Arthur C. Clarke che ne ipotizzò per primo l'utilizzo per i satelliti nel campo delle telecomunicazioni<sup>89</sup>), orbita circolare, equatoriale e geosincrona, ossia situata a una altezza tale che il periodo di rotazione di un satellite artificiale qui posizionato coincide con quello della Terra, può essere a ragione considerata un punto strategico.

Tra questi rientrano, in maniera maggiormente rilevante dal punto di vista militare (come per installazioni di armamenti o basi), importanti posizioni, e postazioni, nel sistema Terra-Sole e, in particolare, nel sistema Terra-Luna. Riguardo ai primi, per la terza legge di Keplero, il quadrato del periodo orbitale (ossia del tempo necessario a compiere una rivoluzione completa) è proporzionale al cubo della distanza dal Sole: il tempo impiegato, quindi, per percorrere un'orbita dipende dalla sua ampiezza. Un veicolo spaziale lanciato dalla Terra, ad esempio, che ruoti intorno al Sole in un'orbita circolare minore rispetto all'orbita terrestre ha un periodo di rivoluzione più breve, a più alta velocità, e la sua distanza aumenterà finché sarà lontano dalla Terra. Tuttavia, per il veicolo spaziale posto tra la Terra e il Sole, l'attrazione contraria della Terra riduce l'attrazione effettiva del Sole facendo in modo che il veicolo stesso si muovi più lentamente. Con le opportune e dovute proporzioni e distanze, è possibile che il moto orbitale del veicolo sia sincronizzato con quello terrestre. In tale punto, sebbene la forza gravitazionale del Sole sia il 2% più forte di quella terrestre ( $118 \mu\text{m}/\text{s}^2$  contro  $5,9 \text{ mm}/\text{s}^2$ ) mentre la differenza nella forza centripeta è pari a  $59 \mu\text{m}/\text{s}^2$ , la forza gravitazionale terrestre esercita un'accelerazione opposta pari a  $177 \mu\text{m}/\text{s}^2$  tale da controbilanciare il divario iniziale. Il punto dove accade questo fenomeno è detto punto di Lagrange L1 – dal matematico italo-francese del XVIII secolo Joseph-Louis Lagrange, all'anagrafe Giuseppe Luigi Lagrangia<sup>90</sup>, primo a metterne in luce le proprietà – e si trova a circa quattro volte la distanza della Luna e 1/100 della distanza dal Sole, ovvero a circa 1,5 milioni di km dalla Terra. La sonda Soho (*Solar and Heliospheric Observatory*) lanciata nel 1995<sup>91</sup>

<sup>89</sup> A.C. Clarke, *Extra-Terrestrial Relays – Can Rocket Stations Give Worldwide Radio Coverage?*, «Wireless World», ottobre 1945, pp. 305-308. Tale autore è noto soprattutto per il soggetto che diede vita al romanzo del 1968, *2001: Odissea nello spazio*, da cui Stanley Kubrick trasse l'omonimo film.

<sup>90</sup> Per approfondimenti sulla figura del matematico nato a Torino, si consiglia M.T. Borgato, L. Pepe, *Lagrange. Appunti per una biografia scientifica*, La Rosa, Torino 1990.

<sup>91</sup> <[http://map.gsfc.nasa.gov/mission/observatory\\_l2.html](http://map.gsfc.nasa.gov/mission/observatory_l2.html)>; <[http://www.esa.int/Our\\_Activities/Space\\_Science/L1\\_the\\_first\\_Lagrangian\\_Point](http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/L1_the_first_Lagrangian_Point)> (09/2016).

e la sonda ACE (*Advanced Composition Explorer*) del 1997<sup>92</sup> che studiano i fenomeni *in situ*, ossia molti aspetti del Sole, tra cui il vento solare, ruotano intorno al punto lagrangiano L1. Nel sistema Terra-Sole esistono altri quattro punti di Lagrange. I primi tre punti, dei quali si è citato solo il primo, sono i più instabili. Nel caso semplificato che in cui il terzo corpo (quello eventualmente lanciato nello spazio) abbia massa trascurabile rispetto agli altri due, esso in tali punti segue una traiettoria secondo la curva di Lissajous, e, dal punto di vista pratico, gli stessi risultano zone di parcheggio energeticamente economiche. Il punto L2 è simmetrico ad L1 dalla parte della Terra non illuminata dal Sole. Intorno ad esso graviterà nel 2018 il telescopio spaziale James Webb, successore del Telescopio Hubble<sup>93</sup>, nel campo dell'osservazione infrarossa, e gravita ora la sonda spaziale WMAP (*Wilkinson Microwave Anisotropy Probe*)<sup>94</sup>, che misura ciò che rimane delle radiazioni spaziali dovute al Bing Bang. Il punto L3 si trova dall'altra parte del Sole, è un punto instabile ed invisibile alla Terra, perlopiù sede dell'immaginazione come il mondo nativo di un personaggio del fumetto di Superman, Bizarro, o della *logica* umana come l'Antiterra teorizzata dal pitagorico Filolao<sup>95</sup>. I punti L4, in cui è stato scoperto l'unico asteroide troiano della Terra (2010 TK7)<sup>96</sup>, e L5 si trovano nell'orbita terrestre ma spostati di 60° rispetto alla linea Terra-Sole, sono punti anch'essi instabili a causa delle interferenze degli altri pianeti. Di maggiore importanza strategica sono alcune implicazione delle relazioni gravitazionali e i punti di Lagrange tra la Terra e il suo satellite naturale,

<sup>92</sup> <[http://www.nasa.gov/mission\\_pages/sunearth/news/ace-15th.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/sunearth/news/ace-15th.html)> (09/2016).

<sup>93</sup> <[http://www.nasa.gov/mission\\_pages/sunearth/news/ace-15th.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/sunearth/news/ace-15th.html)> (09/2016).

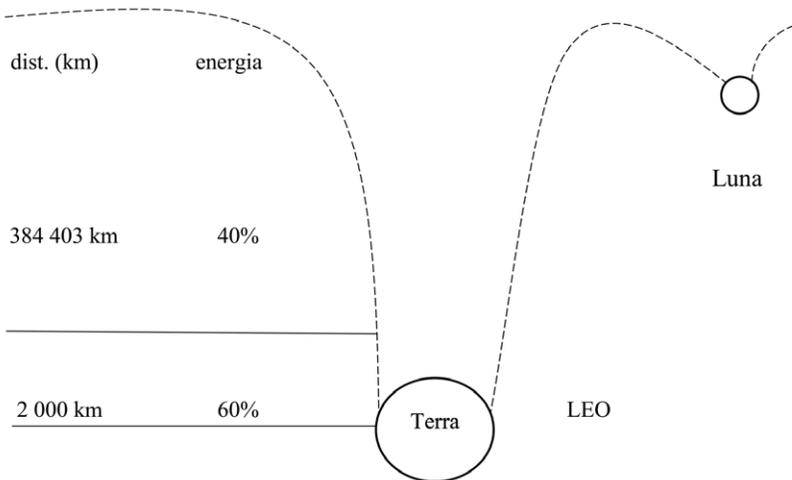
<sup>94</sup> <<http://map.gsfc.nasa.gov/>> (09/2016).

<sup>95</sup> Tale intuizione astro-filosofica derivava dalla forzatura del 'numero perfetto pitagorico', il numero dieci, secondo cui ai nove corpi allora conosciuti (Terra, Luna, Sole, Mercurio, Venere, Marte, Giove, Saturno, il cielo delle stelle fisse) era da aggiungerne un altro, parallelo al nostro mondo e invisibile all'occhio umano. Così Aristotele sui pitagorici: «Essi dicono che nel centro è il fuoco, che la Terra è un astro e che essa/ ruotando attorno alla parte centrale, dà origine al giorno e alla notte/ Poi, opposta a questa, dicono che c'è una seconda Terra, ch'essi chiamano/ Antiterra, e questo affermano non già ricercando le cause e le ragioni dei fenomeni/ e cercando di accordarli con alcune loro convinzioni e opinioni preconcelte» (Aristotele, *Metafisica*, I, 985b ss., e in *De coelo*, II 13, 293 a 18). I testi sono disponibili online su <<http://www.liberaliber.it>> e su <<https://archive.org>>.

<sup>96</sup> Il nome curioso si deve al fatto che il primo asteroide troiano, scoperto dall'astronomo Max Wolf nel 1906, trovandosi nell'orbita di Giove, fu denominato 588 Achille. Da quel momento, in poi, furono dati a tali asteroidi i nomi dei personaggi dell'Iliade di Omero, così in L4, definito anche campo greco, tra il Sole e Giove si hanno 659 Nestore, 911 Agamennone, 1647 Menelao, 1143 Ulisse e 624 Ettore, unico eroe troiano nel campo greco, mentre in L5 884 Priamo, 1172 Enea, 1173 Anchise, 1208 Troilo e, l'intruso, 617 Patroclo.

la Luna. Nel 1943 l'astronomo Robert Richardson, in un articolo<sup>97</sup> sul campo gravitazionale, tentò di spiegare tale fenomeno usando l'immagine dei 'pozzi gravitazionali' e aggiungendo che i lati dei pozzi diventano via via più ripidi e più profondi. In orbita bassa terrestre (LEO, *Low Earth Orbit*), tra i 160 e 2 000 km di distanza dalla Terra, ovvero tra l'atmosfera e la fascia di Van Allen, essi esporrebbero il carico ad un'eccessiva esposizione radioattiva. In tale orbita sono stati compiuti tutti i viaggi spaziali umani, ad eccezione dei viaggi lunari del programma Apollo<sup>98</sup>, essendo così vicini al centro della Terra è necessario un grande dispendio energetico per raggiungere tale posizione e una velocità di circa 7,2 km/s (a testimonianza dell'energia necessaria a parità di massa), mentre per raggiungere la distanza della Luna, 384 403 km (in perigeo 363 104 km e in apogeo 405 696 km), la velocità necessaria si abbassa a 3,86 km/s<sup>99</sup>.

Figura 1.1 – Pozzi di gravità Luna-Terra.



Dall'articolo di Richardson, George Harry Stine ha catturato il significato strategico-militare della teoria dei pozzi gravitazionali: un colpo sparato dall'alto acquista maggior velocità di un colpo sparato dal basso verso l'alto. In altre parole, chi è posto nella sommità del campo gravitazionale Luna-Terra ha un vantaggio di energia e di manovra, avendo la possibilità di osservare meglio e, eventualmente, rispondere al fuoco

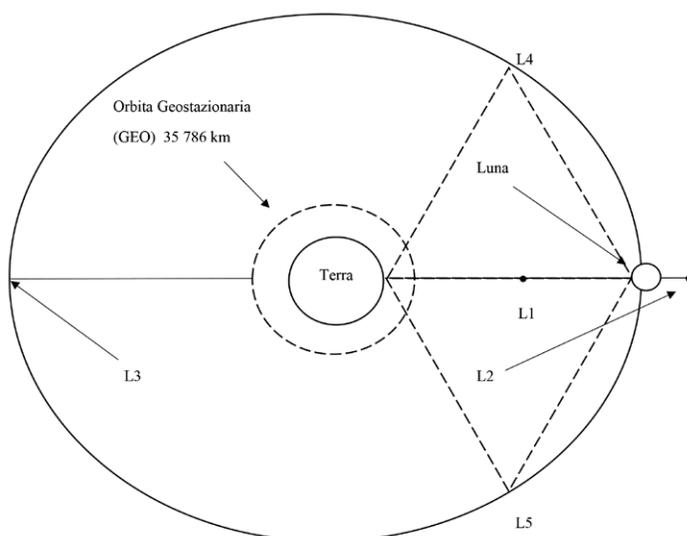
<sup>97</sup> G.H. Stine, *Confrontation in Space*, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs 1981, p. 56.

<sup>98</sup> La distanza maggiore dalla Terra è stata raggiunta dalla missione della NASA Gemini 11 che in apogeo è arrivata a 1374,1 km dalla Terra.

<sup>99</sup> Cfr. J.M. Collins, *Military Geography for Professionals and the Public*, National Defense University Press, Washington DC 1998, p. 145.

proveniente dal fondo del pozzo, dalla Terra. I punti che rappresentano la massima efficacia di tale circostanza, ovvero i punti di librazione tra i due corpi, corrispondono esattamente ai punti lagrangiani L4 e L5, anche detti punti di librazione troiani, mentre gli altri tre punti (L1, L2, L3) sono considerati instabili, a causa del movimento non circolare dell'orbita lunare e della forte attrazione gravitazionale del Sole<sup>100</sup>. La NASA ha recentemente annunciato di voler inviare una sonda nel punto L2<sup>101</sup>. In questi due punti<sup>102</sup>, un corpo di massa non trascurabile rispetto agli altri due richiederebbe, dal punto di vista teorico, un dispendio di energia minimo per rimanere in tale posizione nel sistema Terra-Luna.

Figura 1.2 – Punti di Lagrange Terra-Luna.



Riguardo ai punti L4 e L5, per Stine, sempre sulla teoria dei pozzi gravitazionali del sistema Terra-Luna, il controllo della Luna implica il

<sup>100</sup> Stine, *Confrontation in Space*, cit., pp. 58-59.

<sup>101</sup> Cfr. [www.nasa.gov/pdf/604644main\\_3-L2\\_Mission\\_11.15.2011.r1.pdf](http://www.nasa.gov/pdf/604644main_3-L2_Mission_11.15.2011.r1.pdf) (09/2014).

<sup>102</sup> La soluzione intuitiva a tale questione, secondo il problema dei tre corpi soggetti all'influsso della reciproca attrazione gravitazionale, dal punto di vista geometrico e non analitico, è che i due punti (L4, L5) si ritrovano ad essere all'estremità del terzo angolo di un triangolo equilatero dove la base è rappresentata dalla linea di congiunzione delle due masse più grandi, di conseguenza le forze gravitazionali dei due corpi (Terra-Luna) sono nello stesso rapporto con le masse dei corpi nei due punti, così la forza risultante passa per il baricentro del sistema. Inoltre, l'accelerazione sarà direttamente proporzionale alla distanza dal baricentro dei due corpi, esattamente la forza necessaria per mantenere il corpo più piccolo in equilibrio orbitale con gli altri due: il baricentro risulta così sia il centro di massa che il centro di rotazione del sistema a tre corpi.

controllo della Terra e il controllo dei punti di librazione L4 e L5 implica il controllo dell'intero Sistema Terra-Luna. Attualmente in tali punti è presente dal 1990 la sonda spaziale Hiten dell'Istituto per le Scienze Spaziali ed Aeronautiche (ISAS) del Giappone, prima missione lunare nipponica e prima robotica dal 1976, anno in cui terminò il programma sovietico Luna.<sup>103</sup> I punti di Lagrange sono spesso citati come eventuali basi per una guerra lunare<sup>104</sup> o di una prima colonizzazione del nostro satellite naturale, ipotesi di non facile conduzione vista la presenza di turbini di plasma nella magnetocoda del campo gravitazionale terrestre e alla perenne presenza di tempeste di polveri lunari<sup>105</sup>.

Dalle due considerazioni Stine ha specificato quali caratteristiche debba avere, infine, uno stratega dello spazio:

La capacità di permettere o impedire il transito del traffico spaziale, di impedire l'uso di altre aree orbitali militari o commerciali, di lanciare attacchi contro qualsiasi target sulla Terra, sulla Luna o nello spazio Terra-Luna, o di individuare e reagire contro ogni minaccia creata nel sistema Terra-Luna<sup>106</sup>.

Sembra così venire alla mente la cosiddetta 'teoria di Panama', che l'ingegnere statunitense Dandridge MacFarlan Cole ha presentato nel 1961 di fronte alla comunità astronautica internazionale. Nello spazio, così, vi sono delle zone strategiche, o meglio delle linee di comunicazione (in particolare stazioni spaziali, asteroidi e planetoidi, «three dimensional islands of the new three-dimensional sea»<sup>107</sup>), che possono eguagliare l'importanza che ha il canale di Panama per il trasporto navale. Forse l'adozione di tale asserzione avrebbe almeno in parte evitato la minaccia continua, paventata o reale, di collisioni di asteroidi e meteoriti sul nostro pianeta<sup>108</sup>.

<sup>103</sup> <<http://solarsystem.nasa.gov/missions/profile.cfm?Sort=Nation&MCode=Hiten&Nation=Japan&Display=ReadMore>> (09/2016).

<sup>104</sup> J.M. Collins, *U.S. Military Spacepower: Conceptual Underpinning and Practices*, in Lutes, Hays (a cura di), *Toward a Theory of Spacepower. Selected*, cit., cap. 18, pp. 352-372; E.C. Dolman, H.F. Cooper Jr., *Increasing the Military Uses of Space*, in Lutes, Hays (a cura di), *Toward a Theory of Spacepower. Selected Essay*, cit., cap. 19, pp. 373-390.

<sup>105</sup> Cfr. <[http://www.nasa.gov/topics/moonmars/features/magnetotail\\_080416.html](http://www.nasa.gov/topics/moonmars/features/magnetotail_080416.html)> (09/2016).

<sup>106</sup> Stine, *Confrontation in Space*, cit., p. 58.

<sup>107</sup> D.M. Cole, D.W. Cox, *The Challenge of the Planetoids*, Chilton Press, Philadelphia 1964, p. XIII.

<sup>108</sup> Fu proprio questo uno dei motivi che spinse Cole a formulare la sua teoria, insieme ai giovamenti che ne avrebbe avuto la scienza in generale nel campo delle esplorazioni, alla possibilità di rifornimento nello spazio e all'opportunità di installazione di eventuali colonie. Cfr. ivi, pp. 5-6.

## CAPITOLO 2

### LO SPAZIO COME CAMPO DI BATTAGLIA: QUESTIONI TEORICHE PRELIMINARI DI STRATEGIA DELLA GUERRA SPAZIALE

Perciò se alla natura umana si lascia corso libero, incoraggiandone le caratteristiche intrinseche, necessariamente incominceranno le controversie, non si rispetteranno le corrette ripartizioni, si sovvertiranno i modelli e si finirà nella violenza.

Xunzi, *La natura dell'uomo è malvagia*, cap. 23, IV-III sec. a.C.

Se fosse così facile far bene  
come sapere quel che è bene fare,  
le chiesette sarebbero basiliche  
e i tuguri palazzi principeschi.

Porzia ne *Il Mercante di Venezia*, I, II

Un'analisi approfondita non può prescindere da considerazioni preliminari di natura teorica qui racchiuse in due filoni. Nel primo, verrà dato ampio margine al dibattito, accesosi nel mondo statunitense<sup>1</sup>, circa l'opportunità di installazioni di armamenti spaziali, ovvero sia sistemi di arma posizionati nello spazio sia con raggio di azione oltre l'atmosfera. A tal proposito, verranno analizzate le scuole di Lupton sulla «space weaponization» (da non confondere con «space militarization», vd. cap. 4), dando ampio riferimento alle basi teoriche di tali dottrine, facenti capo alla teoria delle Relazioni Internazionali. La seconda parte del capitolo è stata indirizzata verso una trattazione sull'ambiente operativo, sui limiti e sulle possibilità che la fisica concede, per ora, a un eventuale conflitto in tale ambiente, consapevoli di come le capacità tecnologiche degli attori si spingano verso una vittoria, sempre parziale, nel perenne tentativo di dominio dell'uomo sull'ambiente circostante.

<sup>1</sup> Y. Fukushima, *Debates over the Military Value of Outer Space in the Past, Present and the Future: Drawing on Space Power Theory in the U.S.*, pubblicato in lingua giapponese in «Boei Kenkyusho Kiyō» [NIDS Security Studies], XV (2), febbraio 2013, in <[http://www.nids.go.jp/english/publication/kiyo/pdf/2013/bulletin\\_e2013\\_4.pdf](http://www.nids.go.jp/english/publication/kiyo/pdf/2013/bulletin_e2013_4.pdf)> (09/2016).

### 2.1 Le scuole di Lupton sulla «space weaponization»

Il dibattito sulla necessità di un uso strategico-militare e sulla collocazione di armamenti nello spazio rimane particolarmente acceso negli Stati Uniti, essendo stati questi, per un lungo periodo, una delle due potenze (l'altra era l'unione Sovietica) in grado di spendere ingenti risorse per lo sviluppo della tecnologia adatta a tale scopo e ad aver sviluppato all'interno dei propri confini una certa coscienza spaziale<sup>2</sup>. Le diverse posizioni dialettiche sono state riprese dall'ufficiale dell'USAF, David Lupton<sup>3</sup>, il quale ha registrato la presenza di quattro contrapposte scuole di pensiero (sviluppatasi nell'ambiente accademico, scientifico e politico statunitense a partire dagli anni ottanta, allorché le prospettive reaganiane di utilizzo dello spazio accesero il focolaio della discordia dialettica): la *Sanctuary School*, la *Survaibility School*, la *High Ground School*, la *Space Control School*.

La prima scuola, e forse anche la più importante, la *Sanctuary School*, è basata sul precetto che il ruolo primario degli assetti spaziali sia la loro capacità di vedere all'interno dei confini nazionali grazie alla possibilità di sorvolo legale dei veicoli spaziali. Quest'ultimo è assicurato dai sistemi spaziali, veri e propri mezzi di garanzia dei trattati. Il sorvolo viene rappresentato come un diritto riconosciuto e innegabile, riguardo al quale qualsiasi uso militare dello spazio comporterebbe la relativa perdita. La strada maestra per garantire tale uso pacifico è elevare lo spazio a 'sanctuario', libero, per definizione, da ogni forma di violenza. Uno Stato che volesse portare avanti tale convinzione dovrebbe porsi, innanzitutto, la priorità di 'vestale deterrente', rendersi in grado di infliggere danni determinanti a un eventuale aggressore, ragione per cui sarebbe necessaria una certa superiorità tecnologica e di armamenti, di capacità di *first strike*, tale da impedire una controffensiva nemica<sup>4</sup>. La *Sanctuary School* è stata la dottrina ufficiale statunitense a partire dall'amministrazione Eisenhower fino alla presidenza Carter. Tale orientamento ha perso completamente la sua valenza, prima, nel settembre 1982 con la nascita dell'*Air Force Space Command* (AFSPCOM) e, poi, nel discorso sull'Impero del Male<sup>5</sup> (Orlando, 8 marzo 1983, alla presenza dell'Associazione Evange-

<sup>2</sup> A proposito vd. l'interessante articolo di B. Buzan, *America in Space: The International Relations of Star Trek and Battlestar Galactica*, «Millennium – Journal of International Studies», 39, luglio 2010.

<sup>3</sup> D.E. Lupton, *On Space Warfare. A Pace Power Doctrine*, Air University Press, Maxwell AFB 1988.

<sup>4</sup> Sulle capacità di *first strike* e sul rapporto di queste con l'ambiente spaziale si rimanda a: F.E. Morgan, *Deterrence and First-Strike Capability in Space. A Preliminary Assessment*, RAND Corporation, Santa Monica 2010.

<sup>5</sup> Il testo completo del discorso è disponibile on line sul sito della *Ronald Reagan Presidential Library*, <<http://www.reagan.utexas.edu/archives/speeches/1983/30883b.htm>> (09/2016).

lica Nazionale) del presidente Reagan, che pose le basi per l'iniziativa di costruzione di uno scudo spaziale. Successivamente, mentre nel periodo post Guerra fredda tale scuola di pensiero è ritornata in auge, ora, invece – di fronte ai riusciti esperimenti sulla possibilità di dispiegamento di sistemi antisatellite (ASAT), allo sviluppo di armi a energia cinetica (*Kinetic Kill Vehicle*, KKV) e agli avanzati sistemi a propulsione laser (*Space-Based Laser*, SBLS) – sembra aver perso a tal punto il raggiunto vigore che si è guadagnata, negli ambienti militari, l'appellativo di 'strategia dello struzzo', di testa nella sabbia, posizionata in quel modo a discapito della sicurezza nazionale<sup>6</sup>. Altri autori hanno suddiviso tale indirizzo nelle sue prospettive idealiste, internazionaliste e nazionaliste, corrispondenti rispettivamente: i primi a una maggior fiducia nel diritto come l'unico in grado di limitare la diffusione delle armi nello spazio; i secondi al rischio destabilizzante sul sistema internazionale; gli ultimi, agevolmente definibili come *sanctuary realist*, alla possibile perdita dello supremazia statunitense nel caso di una corsa agli armamenti nello spazio, troppo cari, facilmente sott'attacco e bisognosi di una protezione continua a difesa dell'elevata dipendenza da tali assetti delle moderne forze armate<sup>7</sup>.

La *Survivability School* si fonda sulla vulnerabilità eccessiva delle forze spaziali rispetto alle forze terrestri. La ridotta capacità di sopravvivenza degli assetti spaziali sarebbe dovuta a tre ordini di fattori. *In primis*, vi è la convinzione di una vasta espansione degli effetti di un'arma nell'ambiente spaziale, congiuntamente alla tesi secondo la quale l'enorme distanza dello spazio aumenterebbe la probabilità di uso di armamenti nucleari. Segue, dunque, la bassa capacità di manovra delle forze spaziali, per loro natura statiche, fortemente dipendenti dal proprio vettore e con scarse disponibilità e capacità di immagazzinamento energetico. Infine, l'eventuale assenza di sensibilità politica comporterebbe un notevole tasso di incertezza circa le conseguenze di un attacco nello spazio. Diverrebbe, di conseguenza, difficile rispondere persino alla pur semplice domanda se l'attacco ad un satellite potrebbe essere qualificato come l'inizio delle ostilità, il via all'entrata in guerra. Tale scuola di pensiero critica aspramente l'affidabilità delle forze spaziali in situazioni di crisi, ritenendo che – sebbene le funzioni militari di comunicazioni, sorveglianza, osservazione e meteorologia possano essere svolte in maniera più efficiente, sia dal punto di vista economico che operativo, nello spazio – la vulnerabilità eccessiva di tali assetti non consentirebbe di farvi adeguato affidamento. Tali funzioni dovrebbero essere presenti anche nelle forze terrestri: la

<sup>6</sup> E. Seedhouse, *The New Space Race: China vs. the United States*, Chichester, Praxis Publishing Ltd, Chichester 2010, p. 53.

<sup>7</sup> K.P. Mueller, *Totem and Taboo: Depolarizing the Space Weaponization Debate*, «Astropolitics», I (1), 2003.

ridondanza assumerebbe un ruolo di *back up* nel caso di una distruzione immediata delle forze spaziali<sup>8</sup>.

La terza scuola di pensiero, la *High Ground School*, fa riferimento a un antico principio di strategia, secondo il quale la conquista dei luoghi alti garantisce il dominio dell'area sottostante. I suoi fautori sostengono una difesa missilistica dello spazio capace di riequilibrare una situazione di disequilibrio, dovuta all'ingente quantità di mezzi di offesa, e provocare un preferibile stallo difensivo: dalla strategia della distruzione assicurata (*Mutual Assured Destruction*, MAD) a quella della sicurezza assicurata<sup>9</sup>. Appare, quindi, necessario investire e concentrare tutte le proprie forze sullo sviluppo delle forze spaziali rispetto a quelle terrestri, aeree o marittime, a prescindere da eventuali limiti logistici e previo un necessario (arduo) controllo<sup>10</sup>.

La *Space Control School* riconosce il potere spaziale come equivalente al potere navale e al potere aereo. Una strategia del potere spaziale va intesa in maniera analoga a una strategia degli altri ambienti operativi, partendo proprio dai principi strategici di quest'ultimi, come quelli sulle linee di comunicazione o sul dominio dello spazio rispetto al dominio dell'aria, e con particolare riferimento alle dottrine di Mahan circa il rapporto con la tecnologia<sup>11</sup> e con il concetto di 'controllo' della strategia terrestre. Il 'controllo', infatti, è una capacità (non una condizione) sia in tempo di pace che di conflitto in determinati punti (teoria di Panama, vd. cap. 1), considerate le difficoltà fattuali ambientali, che rafforzano la metafora con l'ambiente navale. Il bilanciamento interforze di tale dottrina è stato quello lungamente portato avanti dal Dipartimento della Difesa statunitense e dai documenti dell'USAF<sup>12</sup>.

È facile comprendere come la presenza di avversari, di nuove minacce (es. ASAT, armi a energia diretta) e la lontana strada verso una struttura di governo *ad hoc* dell'ambiente spaziale spostino la logica delle scuole elencate da Lupton sullo sfruttamento dello spazio come ambiente strategico e operativo verso una prospettiva fortemente realista, uscendo così, in una prima lettura, dalla caverna delle ombre della 'santità statu-

<sup>8</sup> M.M. Mutschler, *Arms Control in Space: Exploring Conditions for Preventive Arms Control*, Palgrave Macmillian, Basingstoke 2013, p. 114.

<sup>9</sup> Vd. A. Trabalesi, N. Cardinali, *Sviluppo tecnologico ed evoluzione della dottrina d'impiego del potere aerospaziale*, CeMiSS, Roma 2004, p. 53.

<sup>10</sup> S.L. McNiel, USAF, *Proposed Tenets of Space Power. Six Enduring Truths*, «Air & Space Power Journal», 2004, pp. 71-83.

<sup>11</sup> A.T. Mahan, *The Influence of Sea Power upon History, 1660-1783*, Hill and Wang, New York 1963, pp. 1-6.

<sup>12</sup> D. Blake, *Military Strategic Use of Outer Space*, in H. Nasu, R. McLaughlin (a cura di), *New Technologies and the Law of Armed Conflicts*, TMC Asser Press, L'Aia 2014, cap. 7, p. 103.

nitense' dell'ambiente spaziale: il cosmo sembra persino troppo 'piccolo' per una chiesa sola.

## 2.2 *Il dibattito sull'inevitabilità di un dispiegamento di armamenti nello spazio*

Le basi delle scuole di pensiero affondano le radici in tre grandi correnti teoriche delle relazioni internazionali: l'idealismo wilsoniano (liberalismo), il marxismo collettivista (socialismo), il realismo hobbesiano (realismo classico)<sup>13</sup>. Queste sono state pertanto le fondamenta di differenti visioni dell'ambiente spaziale e le loro implicazioni teoriche favoriscono degli spunti che nel tempo hanno dato luce a accesi dibattiti circa la desiderata o meno eventualità del dispiegamento di armamenti spaziali nello spazio o verso lo spazio. Le questioni pratiche, ovvero il risvolto di tali teorie, sono state spesso usate dagli oppositori alla *space weaponization*, i quali, sotto l'egida di tematiche etico-morali, muovono le loro critiche dalla difficoltà di una prova empirica, di un dispiegamento *de facto* degli armamenti, troppo vulnerabili e, per questo, scarsamente efficienti.

### 2.2.1 *Questioni teoriche sulla necessaria installazione di armamenti spaziali*

Il primo filone di pensiero, seguendo le idee del presidente Wilson di un libero e pacifico sistema internazionale insieme al ruolo primario delle istituzioni e del diritto come fattori di pace, vede nella conclusione e nella stipula dei trattati e nel ruolo svolto dalle organizzazioni internazionali l'unico strumento per evitare l'installazione di armamenti nello spazio. Di fatto, tale istituzionalismo liberale è l'idea chiave dell'esplorazione spaziale a fini scientifici. Il collettivismo, invece, ispirato alle idee marxiane, prospetta un uso pacifico dello spazio come realizzazione della larga condivisione di tale ambiente, sul quale nessuna istituzione, statale e non-statale, può rivendicare alcun diritto. La visione collettivista si concentra sulle implicazioni morali e legali che dovrebbero vincolare gli Stati in un sistema di ricerca del benessere comune. Entrambe le dottrine rappresentano due facce della stessa medaglia, quella che vede lo spazio come un 'santuario', tanto cara alla *Sanctuary School*. La condizione di anarchia, infine, in cui nessun attore riesce a contenere gli impulsi primari degli uomini e, così, degli Stati, è alla base della visione realista: Stati e uomini coesistono in una condizione perenne di guerra, dove la legge del più forte la fa da padrona, mentre i periodi di pace

<sup>13</sup> A titolo di esempio, per quanto riguarda l'uso dello spazio, si possono citare rispettivamente come rispecchianti tali visioni: la *National Space Society* (NSS), il progetto *Reaching Critical Will*, l'organizzazione *High Frontier – Past, Present, Future*.

sono solo pause che separano due conflitti<sup>14</sup>. Nelle sue versioni estreme due circostanze possono realizzarsi: nella prima, la centralità dello spazio e di un suo controllo, al fine di un più agevole dominio, rimanda il realismo classico alla visione della *Space Control School* e, in parte, ai presupposti della *High Ground School*; la seconda vede le forze spaziali non aver ancora raggiunto quella compattezza idonea in grado di diminuire fortemente la propria vulnerabilità e, in un'ottica di conflitto perenne, è necessario concentrarsi sugli altri campi di battaglia (*Survivability School*).

Una differente visione, anzi una rivisitazione meno rigida del pensiero di Hobbes contaminato da un velato idealismo, un realismo, per così dire, 'debole' inquadra l'uso della forza attraverso armamenti spaziali in una cornice dove le istituzioni e il diritto ne garantiscano la legittimità sino alla formazione, per dirla con la parole di Hedley Bull, di una 'società internazionale' spaziale, favorita dal declino del predominio di poche superpotenze (attualmente undici agenzie spaziali sono in grado di inviare vettori nello spazio<sup>15</sup>) e dall'aperta collaborazione degli Stati nelle missioni a fini scientifici. La similitudine tra deterrenza nucleare come 'istituzione o quasi-istituzione'<sup>16</sup> e deterrenza spaziale – nel senso di situazioni speciali di quella deterrenza naturale che ha sempre caratterizzato e caratterizza tuttora la politica degli Stati a difesa dei valori umani di sicurezza, sopravvivenza e continuazione di ordine internazionale – dà man forte alle teorie di una società internazionale spaziale. Questa troverebbe sempre più vigore nell'unificazione, o meglio nell'interdipendenza, e di integrazione tecnologica degli individui<sup>17</sup> (con l'uso ge-

<sup>14</sup> Sul pensiero realista nella Teoria delle Relazioni Internazionali, si consiglia, tra gli altri: H. Morgenthau, *Politics Among Nations: The Struggle for Power and Peace*, Knopf, New York 1985 (IV ed.); T. Schelling, *The Tragedy of Conflict*, Harvard University Press, Boston 1980; K. Waltz, *Theory of International Politics*, McGraw-Hill, New York 1979.

<sup>15</sup> Hanno capacità di lancio le seguenti agenzie spaziali: NASA (*National Aeronautics and Space Administration* – Stati Uniti), ROSCOSMOS/RFSa (*Russian Federal Space Agency* – Russia), CNSA (*China National Space Administration* – Cina), JAXA (*Japan Aerospace Exploration Agency* – Giappone), ESA (*European Space Agency* – Unione Europea), ISRO (*Indian Space Research Organization* – India), KARI (*Korea Aerospace Research Institute* – Corea del Sud), KCST (*Korean Committee of Space Technology* – Corea del Nord), NSAU (*National Space Agency of Ukraine* – Ucraina), ISA (*Iranian Space Agency* – Iran), ISA (*Israeli Space Agency* – Israele); mentre altri agenzie spaziali, come quelle di Brasile e Pakistan, stanno progredendo in maniera considerevole in tal senso. Sulle considerazioni del governo statunitense circa tale diffusione di capacità spaziali vd. il discorso del gen. William L. Shelton (*Air Force Space Command*) presso l'*Air Force Association Mithcell Institute*, Washington DC, 7 febbraio 2014, in <<http://www.afspc.af.mil/library/speeches/speech.asp?id=746>> (09/2016).

<sup>16</sup> Cfr. H. Bull, *The Anarchical Society. A Study of Order in World Politics*, Columbia University Press, New York 2002 (I ed. 1977), p. 112.

<sup>17</sup> Lo stesso Bull, in particolare, nella sezione *Alternative Paths for World History*, vede come causa del declino dell'attuale sistema degli Stati l'unificazione tecnologica mon-

neralizzato del sistema GPS, ad esempio, che consente la localizzazione di ogni operazione dallo *smartphone* al prelievo presso gli sportelli bancari), delle compagnie aerospaziali e informatiche e, a caduta, sugli Stati (come la dipendenza della maggior parte degli attori statali per i lanci nello spazio dal vettore russo Soyuz).

Tuttavia, è forse proprio l'uso duale degli assetti spaziali a aumentare l'importanza strategica di tali attività e, così, la loro crescente militarizzazione<sup>18</sup>, mettendo in atto continui tentativi di innesto di un processo di 'securitizzazione' dello stesso ambiente spaziale, ossia di avvio di processi discorsivi attraverso i quali costruire una comprensione oggettiva, all'interno di una comunità politica, della problematica come bisognosa di urgenti e eccezionali misure per farvi fronte (e di 'de-securitizzazione' come tentativo di fare entrare la tematica in un'ottica schmittiana della politica nemico/amico)<sup>19</sup>. Così almeno è apparso il cambiamento delle politiche spaziali dell'attuale amministrazione statunitense e l'acquisizione di sempre maggior importanza delle politiche spaziali nel contesto europeo, con lo sviluppo del programma satellitare Galileo, e nelle nuove potenze regionali, a conferma di come lo spazio sia un necessario *milieu* da raggiungere per acquisire un determinato status<sup>20</sup>. La situazione delicata di confronto tra le maggiori potenze trova riscontro, ad esempio, nella parole del presidente statunitense, Barack Obama, al Kennedy Center (15 aprile 2010), che hanno dato vita a una nuova politica spaziale, incentrata in maniera forte verso il controllo e lo sviluppo costante di innovazioni tecnologiche, per costruire un vantaggio asimmetrico significativo<sup>21</sup>.

diale, insieme all'integrazione regionale degli Stati, alla loro disintegrazione, alla privatizzazione della violenza, alle organizzazioni transnazionali. Ivi, pp. 248-271.

<sup>18</sup> Vd. M. Cervino, S. Corradini, S. Daviolo, *Is the 'peaceful use' of outer space being ruled out?*, «Space Policy», XIX (4), 2003, pp. 231-237.

<sup>19</sup> Sulla teoria del processo di securitizzazione negli Studi sulla Sicurezza si rimanda a B. Buzan, O. Wæver, J. de Wilde, *Security: A New Framework for Analysis*, Lynne Rienner Publishers, Boulder 1998; M.C. Williams, *Words, Images, Enemies, Securitization and International Politics*, «International Studies Quarterly», 47, 2003; sul processo di securitizzazione relativo allo spazio extra-atmosferico vd. C. Peoples, *The Securitization of Outer Space: Challenges for Arms Control*, «Contemporary Security Policy», XXXII, 2011, pp. 76-98.

<sup>20</sup> Da questo punto di vista, sorprende quanto siano suonate sibilline le parole di Marx e Engels, per cui: «Il bisogno di sbocchi sempre più estesi per i suoi prodotti, spinge la borghesia a insediarsi su tutto il globo terrestre. Dappertutto essa deve infiltrarsi, dappertutto stabilirsi, dappertutto creare relazioni». K. Marx, F. Engels, *Il Manifesto dei Comunisti e Il Catechismo dei Comunisti*, edizioni del Marquis, Milano 1971, pp. 47-48 (ed. orig. *Manifest der Kommunistischen Partei*, Londra 1848).

<sup>21</sup> B.H. Obama, *US National Space Policy*, Washington DC, 2010, in <[http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/national\\_space\\_policy\\_6-28-10.pdf](http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/national_space_policy_6-28-10.pdf)> (09/2016). Tale aspetto è ancora più evidente nelle politiche spaziali dell'amministrazione Bush Jr., a conferma di come durante la presidenza di Barack Obama è forse più corretto

Gli Stati Uniti d'America considerano il supporto, la stabilità e il libero accesso, insieme al suo uso, dello spazio come vitale per il proprio interesse nazionale. Le operazioni nello spazio devono essere condotte in modo che ne vengano enfatizzati il libero accesso e la trasparenza per aumentare la pubblica consapevolezza delle attività governative e permettere a altri attori di condividere i benefici derivanti da suo uso.

[...] Gli Stati Uniti impiegheranno uno spettro di misure per assicurare l'uso dello spazio a tutte le parti distintamente responsabili e, nel rispetto del principio conseguente di auto-difesa, dissuaderanno altri attori da interferire o attaccare, difenderanno i propri sistemi spaziali e contribuiranno alla difesa dei sistemi spaziali degli alleati e, in caso non dovesse funzionare l'opera di dissuasione, si impegneranno a rendere vano qualsiasi tentativo di attacco<sup>22</sup>.

Per riprendere, poi, lo stesso Bull sul ruolo della guerra come istituzione nel moderno sistema degli Stati: in una società internazionale, il fenomeno bellico, da un lato, è la manifestazione del disordine che si genera in essa; dall'altro, invece, come strumento della politica e forgiatore del modo con cui si relazionano gli attori tra di loro, è un mezzo attraverso il quale la società internazionale stessa soddisfa il proprio bisogno di intraprendere e raggiungere gli scopi insiti nella propria essenza, ovvero a difesa dello *status quo* e dell'equilibrio di potenza necessari alla propria sopravvivenza, dove gli unici cambiamenti ammessi sono quelli ritenuti come giusti<sup>23</sup>.

In tale ottica, nella possibilità di una società internazionale spaziale, causa la determinante presenza di elementi di instabilità (mancanza di territorialità, rilevanza strategica e interessi nazionali, sviluppo tecnologico e vantaggio asimmetrico, diffusione del potere a discapito di un sistema unipolare o bipolare) e, seppur si dovessero trovare dei valori e delle problematiche condivise (condizione difficile vista ancora il non adeguato sviluppo di una coscienza spaziale), lo sviluppo di armamenti

parlare di 'desecuritizzazione', ovvero di una stabilizzazione politica della militarizzazione dello spazio. Così nella «US National Space Policy», 2006, p. 2: «Gli Stati Uniti si opporranno allo sviluppo di un nuovo regime legale o alter restrizioni che abbiano come scopo di proibire o limitare l'accesso statunitense allo spazio. Proposte di accordi al controllo degli armamenti o restrizioni non devono in alcun modo ledere il diritto degli Stati Uniti di fare ricerca, sviluppare, testare e condurre operazioni per il proprio interesse nazionale» (<<http://fas.org/irp/offdocs/nsdp/space.pdf>>, 09/2016).

<sup>22</sup> Ivi, p. 3.

<sup>23</sup> Bull, *The Anarchical Society. A Study of Order in World Politics*, cit., pp. 181-183. Inoltre, a conferma di quanto sopra detto circa l'equilibrio di potenza, sottolinea l'autore, «l'equilibrio di potenza rimane la condizione della continua esistenza di un sistema di stati, e guerre limitate che influenza la distribuzione del potere tra grandi potenze contribuiscono a quello» (p. 192).

e la conseguente installazione nello spazio diverrebbero l'unico elemento sbabile nel caso di sconvolgimenti e cambiamenti non condivisi.

### 2.2.2 *Questioni empiriche sull'eventuale installazione di armamenti spaziali*

Il dibattito sugli armamenti nello spazio, da posizioni di partenza maggiormente etiche, ha assunto un acceso tono 'preventivo': si è passati dal chiedersi se fosse necessario, possibile e etico installare armamenti nello spazio al domandarsi come prevenire al meglio la loro installazione, fino a paventare l'impossibilità materiale. Riguardo a quest'ultimo punto, i suoi oppositori non sembrano orientarsi verso problematiche di costi o di non adeguatezza della tecnologia corrente, ma analizzano la questione dal punto di vista etico-morale, cercando di trovare i motivi di un vantaggio strategico-militare che, pur potendo, non dovrebbe essere conseguito. In un saggio sull'argomento<sup>24</sup>, Everett C. Dolman e Henry F. Cooper Jr.<sup>25</sup> mettono in risalto sei argomenti su cui si concentrano gli oppositori alla *weaponization* nello spazio. Innanzitutto, gli armamenti spaziali sono costosi e, per converso, i loro mezzi alternativi sono tanto meno cari quanto più efficienti. I costi elevati degli assetti spaziali, collegati al costante e necessario ammodernamento tecnologico, non devono far dimenticare l'opportunità del vantaggio strategico da raggiungere, tale da poter garantire a un attore una superiorità per un notevole lasso di tempo. Inoltre, le strutture economiche e culturali necessarie, che seguono e promuovono l'innovazione nel settore aereo-spaziale, tendono a rimanere all'avanguardia sul palcoscenico internazionale, a garanzia del raggiungimento o del mantenimento dell'egemonia in tale settore. Sull'uguale efficienza degli armamenti terrestri va notato come, paradossalmente, dotare le forze di terra di capacità peculiari a quelle spaziali farebbe lievitare i costi, ben oltre la norma, di lancio e di iniezione di un dispositivo nello spazio. Un altro punto concerne la constatazione che le forze armate convenzionali

<sup>24</sup> E.C. Dolman, H.F. Cooper Jr., *Increasing the Military Uses of Space*, in C.D. Lutes, P.L. Hays (a cura di), *Toward a Theory of Spacepower. Selected Essay*, National Defense University Press, Washington DC 2011, cap. 19, pp. 373-390. Gli autori concludono il saggio prospettando e augurandosi l'avvento di una nuova strategia spaziale, un *astropolitical realism* che debba concentrarsi sui seguenti punti: «la propria [dell'ambiente spaziale] protezione come dominio per investimenti private e sua commercializzazione; riconoscimento del ruolo emergente dello spazio come crito, anche come quintessenza della capacità di perpetuare il predominio militare statunitense nel Sistema internazionale; mezzo di comprensione delle proprietà astro-meccaniche e fisiche dello spazio extra-atmosferico essenziali per un efficace installazione di assetti military spaziali; un lungo ritardo nello sviluppo di un rinnovato regime legale e politico basato sull'attuale realtà internazionale e non sulle fantasie della guerra fredda». Ivi, pp. 387-388.

<sup>25</sup> Nipote del noto politico e scrittore americano James Fenimore Cooper (1789-1851), è stato direttore dell'*U.S. Department of Defense - Strategic Defense Initiative Organization*.

correnti e i relativi mezzi sono adeguati per assicurare il bisogno di sicurezza di una nazione, per cui sarebbe controproducente mettere a rischio la propria sicurezza nell'ambiente spaziale. Certo è, comunque, che sarebbe una minaccia maggiore per la sicurezza degli Stati il possesso di dieci armi pesanti capaci di raggiungere in poco tempo qualsiasi parte del globo, rispetto a un centinaio di satelliti militari o civili/militari, in orbita bassa terrestre e con funzione di ricognizione delle minacce, protetti da pochi sistemi di supporto terrestre. L'affermazione risente, poi, dell'evidente contraddizione del negare lo sviluppo di armamenti spaziali e permettere, allo stesso tempo, una militarizzazione costante negli altri ambienti operativi. Una terza questione vede lo spazio come troppo ampio per essere controllato, così armarsi vorrebbe dire dare il via ad una nuova corsa agli armamenti. La presenza di punti strategici nell'ambiente spaziale ne garantisce un controllo semplificato, avendo la possibilità di concentrare le proprie forze in poche postazioni con un dispendio di energia minimo, mentre, allontanando lo spettro di una corsa agli armamenti, il rischio di arrivare secondi nello sviluppo di tecnologie e strutture adeguate è quanto mai vivo. Infatti, l'opportunità di negare l'accesso ad altri attori è un aspetto determinante del potere spaziale. La garanzia di pace nello spazio non si costruisce con la difesa, né con le lontane prospettive di trattati internazionali, ma con lo sviluppo di capacità di offesa determinanti<sup>26</sup>.

Nel caso, e siamo al quarto punto, che un attore riesca a raggiungere tale obiettivo, gli altri Stati per mantenere l'equilibrio all'interno del sistema internazionale potrebbero coalizzarsi contro. Questo principio di *balance of power* si scontra nella realtà con la prospettiva di una costruzione di una comunità di sicurezza spaziale e con il raggiungimento dell'egemonia, nel caso di controllo nella frontiera finale di un unico Stato, lo *space hegemonist*<sup>27</sup>, nella realtà odierna, ad esempio, sotto la guida statunitense e dei suoi alleati. Tale tesi sembra andare in direzione della logica di potenza e del realismo offensivo di John Mearsheimer, secondo il quale le grandi potenze «sono sempre alla caccia di opportunità per acquisire potere a discapito dei loro rivali, puntando in ultima analisi all'egemonia»<sup>28</sup>. È da notare, invece, che in un'ottica di realismo difensivo è interesse della potenza egemone mantenere lo *status quo*, senza prospettive di costanti corse agli armamenti e senza rispondere alla possibile inevitabilità di un loro dispiegamento (posizione quest'ultima dei cosiddetti *space racers*, i falchi di una corsa alle armi nello spazio<sup>29</sup>).

<sup>26</sup> Dolman, Cooper Jr., *Increasing the Military Uses of Space*, cit., p. 380.

<sup>27</sup> Mueller, *Totem and Taboo: Depolarizing the Space Weaponization Debate*, cit.

<sup>28</sup> J. Mearsheimer, *La Logica di Potenza*, Università Bocconi editore, Milano 2003, p. 29 (ed. orig. *Tragedy of Great Power Politics*, Norton, New York 2001).

<sup>29</sup> Mueller, *Totem and Taboo: Depolarizing the Space Weaponization Debate*, cit.

Un'eccessiva militarizzazione sarebbe poi un freno per il progresso umano, commerciale e scientifico nello spazio. Così come per la militarizzazione degli altri ambienti operativi, un sistema di controllo dello spazio non sarebbe un freno, bensì una garanzia allo sviluppo commerciale e scientifico. Sarebbe, all'opposto, l'attuale situazione di stallo la responsabile della creazione di insicurezza e difficoltà per uno sviluppo umano, commerciale e scientifico nelle orbite spaziali<sup>30</sup>. Infine, i sostenitori degli armamenti spaziali aprono e chiudono la strada a trattati e obblighi giuridici a seconda degli interessi di chi detiene il potere politico-militare. Più che un'ovvietà tale constatazione sembra ben intepretare le difficoltà e le perplessità di raggiungimento di un ampio consenso su una questione complessa e delicata per la sicurezza di ogni nazione, nonché della realtà attuale del sistema internazionale che vede l'emergere di potenze regionali con importanti capacità spaziali.

Per taluni preservare lo spazio come santuario rappresenta una necessaria strategia nazionale, connotando quest'ultima di una dimensione etica, come se la guerra e la logica che la sottende, la politica, rispondessero a questioni di carattere etico-morale. Tra questi, il gen. Bruce M. DeBlois individua, così, la cornice della costruzione di un santuario della frontiera finale, in quattro considerazioni<sup>31</sup>. La prima rafforza il tentativo di perseguire in maniera forte attraverso sforzi diplomatici la conclusione e la stipulazione di trattati per preservare la sacralità dello spazio. Tale constatazione mette in risalto due problematiche: le nuove minacce di oggi pongono di fronte non più due Stati, due attori razionali, ma un insieme di entità non statali con cui è difficile, se non impossibile, giungere a qualsiasi accordo e l'accesso allo spazio sta diventando sempre meno una prerogativa degli stessi Stati; l'aumentata dipendenza degli Stati militarmente ed economicamente più progrediti dall'ambiente spaziale potrebbe vedere la conclusione dei trattati come una perdita relativa dell'interesse e della sicurezza nazionale. Una seconda linea di azione prevede lo sviluppo di alternative strategiche nell'attuale struttura delle forze armate in modo da diminuirne la dipendenza dai troppi vulnerabili assetti spaziali. Il rovescio della medaglia di tale tematica, ripresa dalla *Survivability School*, rispecchia paradossalmente la necessità di sviluppare sempre di più le forze spaziali in maniera direttamente proporzionale all'aumento della loro dipendenza e della loro valenza strategica, invece di sforzarsi di dotare altre forze terrestri, in maniera difficoltosa, se non vana, di pe-

<sup>30</sup> Mearsheimer, *La Logica di Potenza*, cit., p. 381.

<sup>31</sup> Vd. B.M. De Blois, *Space Sanctuary: A Viable National Strategy*, «Airpower Journal», XII (4), 1998, pp. 41-57. L'articolo è considerato come esempio delle cosiddette 'colombe dello spazio', mentre i quattro punti così come enunciati sono stati presi da J. Hyten, R. Uy, *Moral and Ethical Decisions Regarding Space Warfare*, «Air & Space Power Journal», Air University Press, 2004.

cularità proprie degli assetti spaziali. Una terza considerazione riguarda la costruzione di una strategia «hide-and-peek» per proteggere i punti critici degli assetti spaziali. Uno sviluppo così importante dell'*intelligence*, a ricordare il ruolo rilevante che riveste per un altro padre del pensiero strategico come Sun Tzu («è la capacità di previsione [e, quindi, di controllo] a determinare quel successo, precluso ai più che arride al sovrano illuminato e al comandante di talento ogniqualvolta muovono contro il nemico»<sup>32</sup>), diviene sempre più difficile da realizzare con l'aumentare del numero delle attività strategiche e dei dispositivi da proteggere nello spazio. La sorveglianza totale diviene, così, un'operazione quasi impossibile. Da ultimo, il gen. DeBlois propone di mantenere le capacità tecniche per lo sviluppo e il dispiegamento degli armamenti spaziali solo come *extrema ratio*, dando il via alle operazioni con la «less-provocative earth-to-space weapons». La possibilità di azione di *counter-space*, come le capacità di disturbo del segnale satellitare avversario, mostrano, in realtà, come i tempi della contingenza siano tutt'altro che lontani.

Pare necessario, in ultima analisi, sottolineare che, scomodando Machiavelli, proprio converrebbe in tale ambito, strategico-militare come in politica, lungi da questioni di carattere etico-morale, andar dietro alla verità effettuale della situazione, piuttosto che «all'immaginazione di essa», «perché gli è tanto discorso da come si vive a come si dovrebbe vivere, che colui che lascia quello che si fa, per quello che si dovrebbe fare, impara più presto la ruina che la preservazione sua»<sup>33</sup>. D'altro canto, la prova pratica di un dispiegamento degli armamenti spaziali non risolve le questioni teoriche cui sopra si è accennato, tra le quali, ad esempio, un ritardo nello sviluppo tecnologico o la perdita di controllo di un ambiente diventato determinante dal punto di vista strategico (e non solo militare), o il far fronte all'ascesa di potenze regionali, desiderose di aumentare le proprie capacità spaziali a discapito di quelle altrui e sfruttare una possibile superiorità. L'inevitabilità di un dispiegamento degli armamenti nello spazio parrebbe, a maggior ragione, concretizzarsi nell'ultima delle tre immagini di Kenneth Waltz, sulla struttura anarchica delle potenze che si affacciano sul palcoscenico delle capacità spaziali e nell'assoluta dipendenza degli attori del sistema dalla sopravvivenza e dalla preservazione degli assetti spaziali. Si tratta del riflesso dell'anarchia internazionale in un ambiente da considerarsi, sempre di più, un vitale interesse degli attori statali e non-statali e nel quale, mancando l'egemonia stabilizzante di un attore, il consenso ampio su una soluzione fattuale (e non una sua 'immaginazione') a tale problematica sembra lontano. E questo mentre l'*animus dominandi* de-

<sup>32</sup> Sun Tzu, *L'arte della guerra*, a cura di A. Andreini, M. Biond, Einaudi, Torino 2001, pp. 87-88.

<sup>33</sup> N. Machiavelli, *Il Principe* (1532), a cura di A. Capata, Newton & Compton, Roma 2005, cap. XV, p. 67.

gli Stati trova terreno fertile nella ricerca della conquista tecnologica di un vantaggio strategico asimmetrico, che affonda, così, le radici nelle parole dello stesso Waltz: «in anarchy there is no automatic armony»<sup>34</sup>.

## 2.3 Cenni preliminari di astrofisica della guerra

### 2.3.1 Sistemi di lancio

Per il corretto posizionamento di un oggetto in orbita è necessario raggiungere la desiderata altezza (quota, o meglio distanza dalla superficie terrestre) con un'adeguata velocità. Questa condizione non è raggiungibile con un missile a corto raggio: esso è in grado di lanciare un carico utile a centinaia di chilometri dalla superficie terrestre, ma non di infliggergli la velocità necessaria per il posizionamento in orbita. Una prima basilare regola, infatti, stabilisce che un missile balistico, capace di lanciare sulla Terra un oggetto alla distanza  $R$ , verticalmente, verso lo spazio atmosferico, lo stesso missile consentirebbe a tale oggetto di raggiungere la distanza approssimativa di  $R/2$ . La relazione sarebbe perfettamente esatta e valida per missili con un raggio di azione fino a qualche migliaio di chilometri, con distanze minori del raggio terrestre (circa 6 370 km) e se la Terra fosse completamente piatta (l'approssimazione è valida, invece, per ogni tipo di testata)<sup>35</sup>. Cambiare, poi, il

<sup>34</sup> K.N. Waltz, *Man, the State, and War. A Theoretical Analysis*, Columbia University Press, New York 2001 (I ed. 1959), p. 186.

<sup>35</sup> Cfr. D. Wright, L. Grego, L. Gronlund, *The Physics of Space Security*, American Academy of Arts and Science, Cambridge 2005, sezione 8, app. B, pp. 86-87. Per la dimostrazione, si consideri un missile di massa  $m$  lanciato verticalmente con una velocità pari a  $V$ , l'altezza massima  $h$  verrebbe raggiunta uguagliando energia cinetica e energia potenziale (dove  $g$  è la forza di gravità) per cui:

$$\frac{1}{2}mV^2 = mgh \Rightarrow h = \frac{V^2}{2g}$$

Il tempo impiegato per raggiungere l'apogeo, ovvero la massima distanza dalla Terra, sarà:

$$h = \frac{1}{2}gt_{apogeo}^2 \Rightarrow t_{apogeo} = \frac{V}{g}$$

Per massimizzare, invece, il raggio di azione del missile e considerando la Terra come un piano, il lancio dovrebbe avvenire con un'inclinazione di 45°. Se la velocità iniziale del missile è  $V$ , di cui le componenti verticali e orizzontali rispettivamente  $V_h$  e  $V_v$  e uguali entrambe a  $(V/\sqrt{2})$ , il raggio di azione del missile è dato dal prodotto della velocità (costante) orizzontale e del tempo impiegato per raggiungere l'apogeo e ritornare sulla Terra:

$$\text{raggio di azione} = 2t_{apogeo}V_h = 2\left(\frac{V_v}{g}\right)V_h = \frac{V^2}{g}$$

carico utile del missile muterebbe sia il raggio di azione che la distanza raggiunta, ma tali fattori rimarrebbero, comunque, in relazione tra loro, ovvero il primo il doppio del secondo: quindi, ad esempio, un missile *Scud-B*, con un raggio di 300 km che trasporta con sé un carico di una tonnellata, nel caso fosse lanciato verticalmente, riuscirebbe a coprire la distanza di circa 150 km, mentre riducendo il carico a cinque quintali e, di conseguenza, per la legge sopra enunciata, il raggio a 440 km, il missile raggiungerebbe un'altezza di 220 km. Non è arduo comprendere la scelta di ridurre quanto più possibile il carico utile a una piccola percentuale della massa del vettore. La velocità necessaria per posizionare l'intero carico utile in orbita (7-8 km/s) può essere difficilmente ottenibile con un missile balistico intercontinentale, seppure con raggio di azione di 10 000 km, anche perché l'impatto con l'atmosfera ha conseguenza nefaste per il missile stesso, il quale tende a bruciarsi a qualche centinaio di chilometri di altezza. Nella tabella di seguito, vengono indicati i lanciatori commercialmente disponibili e quelli in fase di sviluppo (indicati nella tabella con l'asterisco), con la rispettiva capacità di trasporto di massa satellitare (tonnellata metrica pari a 1 000 kg, ovvero 1,00 Mg, megagrammo) in orbita bassa terrestre ( $M_{Leo}$ ), orbita di trasferimento geostazionaria ( $M_{GTO}$ ), orbita eliosincrona ( $M_{SSO}$ ), insieme all'altezza (quota) raggiungibile ( $h$ ) e all'inclinazione dell'orbita ( $\theta$ ), quindi, la massa al decollo (*lift off* -  $M_{Lo}$ ) del lanciatore, e le rispettive capacità relative al *lift off*.

corrispondente esattamente al doppio dell'altezza massima trovata sopra. Considerata la forma sferica della Terra, la variazione dell'accelerazione di gravità al variare dell'altezza raggiunta dal missile a velocità  $V$  - il punto massimo ( $h$ ) di quest'ultima - nuovamente posta nell'uguaglianza tra energia potenziale e energia cinetica, dove  $G$  è la costante di gravitazione universale della Terra e  $M_e$  la massa della Terra ( $GM_e = 3,99 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$ ), risponde al seguente rapporto:

$$GM_e m = \left( \frac{1}{R_e} - \frac{1}{R_e + h} \right) = \frac{1}{2} m V^2$$

Massimizzando  $h$ , si ottiene:

$$h = R_e \left( \frac{(V/V_0)^2}{2 - (V/V_0)^2} \right)$$

dove

$$V_0 \equiv \sqrt{\frac{GM_e}{R_e}} = 7,91 \text{ km/s}$$

è la velocità orbitale di un'orbita circolare il cui raggio è uguale a  $R_e$ . Tale equazione dimostra che per  $V = \sqrt{2} V_0 = 11,2 \text{ km/s} \Rightarrow h = \infty$ , ovvero la velocità di fuga dalla Terra, e che con  $V = V_0$  si ottiene  $h = R_e = 6 370 \text{ km}$ . Per  $V = 3 \text{ km/s}$ , che corrisponde alla velocità di un missile balistico dal raggio di azione di 1 000 km, l'equazione diventa  $h = 0,078 R_e = 495 \text{ km}$ , e, per  $V = 7,2 \text{ km/s}$  (missile balistico con un raggio di 10 000 km),  $h = 0,71 R_e = 4 525 \text{ km}$ . Quest'ultimo risultato conferma che la regola, cui a inizio nota si è fatto riferimento, vale per missili con un raggio di azione minore del raggio terrestre ed è valida in maniera approssimativa per raggi maggiori.

Tabella 2.1– Caratteristiche dei razzi lanciatori.

Lanciatore	$M_{LEO}$ (Mg) ( $h$ ; $\theta$ )	$M_{GTO}$ (Mg) (Perigeo; $\theta$ )	$M_{SSO}$ (Mg)	$M_{L_0}$ (Mg)	$\frac{M_{LEO}}{M_{L_0}}$	$\frac{M_{GTO}}{M_{L_0}}$	$\frac{M_{SSO}}{M_{L_0}}$
Ariane 5 (ECA) <sup>1</sup> (Airbus Defence & Space) Europa	21 (400 km; 51,6°)	9,5 (250 km; 6°)	10	780	2,6%	1,2%	1,3%
*Ariane 6 <sup>2</sup> (Airbus Defence & Space) Europa	–	6,5	4	–	–	–	–
Vega <sup>3</sup> (ESA, ASI, Avio) Europa	2,5	–	–	138	1,8%	–	–
Antares <sup>4</sup> (Orbital Sciences) Stati Uniti	6,1	–	–	–	–	–	–
Atlas V 551 <sup>5</sup> (United Launch Alliance) Stati Uniti	18,5	8,7	13,5	587	3,1%	1,5%	2,3%
*Falcon Heavy <sup>6</sup> (SpaceX) Stati Uniti	53	21,2	13,2	–	–	–	–
Falcon 9 <sup>7</sup> (SpaceX) Stati Uniti	10,4 (200 km; 28,5°)	7 (185 km; 28,5°)	8,3	505	2%	1,3%	1,6%
Delta IV <sup>8</sup> (United Launch Alliance) Stati Uniti	9,4 – 28,7 (200 km; 28,7°)	4,4 – 14,2 (185 km; 27°)	7,9 – 23,5	249 733	3,7% 3,9%	1,7% 1,9%	3,1% 3,2%

<sup>1</sup> *Ariane 5 User's Manual*, «Arianespace», luglio 2011, in <[http://www.arianespace.com/launch-services-ariane5/Ariane5\\_users\\_manual\\_Issue5\\_July2011.pdf](http://www.arianespace.com/launch-services-ariane5/Ariane5_users_manual_Issue5_July2011.pdf)> (09/2016).

<sup>2</sup> Possibilità di volo tra il 2021 e il 2022 (<[http://www.esa.int/Our\\_Activities/Launchers/Launch\\_vehicles/Ariane\\_6](http://www.esa.int/Our_Activities/Launchers/Launch_vehicles/Ariane_6)>, 09/2016).

<sup>3</sup> <<http://esamultimedia.esa.int/multimedia/publications/Vega/offline/download.pdf>> (09/2016).

<sup>4</sup> *Antares User's Guide*, «Orbital Sciences Corporation», luglio 2013, in <[https://www.orbital.com/LaunchSystems/Publications/Antares\\_UsersGuide.pdf](https://www.orbital.com/LaunchSystems/Publications/Antares_UsersGuide.pdf)> (09/2016).

<sup>5</sup> <<http://www.spaceflight101.com/atlas-v-551.html>> (09/2016).

<sup>6</sup> Demo attesa per il 2015, *Info Falcon Heavy*, SpaceX, in <<http://www.spacex.com/falcon-heavy>> (09/2016).

<sup>7</sup> *Falcon 9 User's Guide*, «SpaceX», Office Security Review, 2009, in <<http://decadal.gsfc.nasa.gov/pace-1206mdl/Launch%20Vehicle%20Information/Falcon9UsersGuide2009.pdf>> (09/2016).

<sup>8</sup> *Delta IV Launch Services User's Guide*, United Launch Alliance – ULA, giugno 2013, il range di valori dipende dalle cinque versioni disponibili: *Medium*, *Medium+* (4,2), *Medium+* (5,2), *Medium+* (5,4), *Heavy* (<[http://web.archive.org/web/20140710005717/http://www.ulalaunch.com/uploads/docs/Launch\\_Vehicles/Delta\\_IV\\_Users\\_Guide\\_June\\_2013.pdf](http://web.archive.org/web/20140710005717/http://www.ulalaunch.com/uploads/docs/Launch_Vehicles/Delta_IV_Users_Guide_June_2013.pdf)>, 09/2016).

Lanciatore	$M_{LEO}$ (Mg) ( $h; \theta$ )	$M_{GTO}$ (Mg) (Perigeo; $\theta$ )	$M_{SSO}$ (Mg)	$M_{Lo}$ (Mg)	$\frac{M_{LEO}}{M_{Lo}}$	$\frac{M_{GTO}}{M_{Lo}}$	$\frac{M_{SSO}}{M_{Lo}}$
*Lunga Marcia 7 <sup>9</sup> (China Academy of Launch Vehicle Technology) Rep. Pop. Cinese	20	–	5,5	582	3,4%	–	0,9%
GSLV <sup>10</sup> (ISRO) India	5	2,5	–	414	1,2%	0,6%	–
PSLV <sup>11</sup> (ISRO) India	3,2	1,05	1,6	295	1,1%	0,3%	0,5%
H-2 A2024 <sup>12</sup> (Mitsubishi Heavy Industries) Giappone	11,7 (300 km; 30,4°)	5 (250 km; 28,5°)	5,3	348	0,03%	0,01%	0,015%
Proton K <sup>13</sup> (Khrunichev) Russia	19,8 (186 km; 51,6°)	4,9 (4.200 km; 23,4°)	3,6	692	2,9%	0,7%	0,5%
*Angara <sup>14</sup> (Khrunichev) Russia	3,8 – 24,5	5,4 – 7,5	–	171,5 – 790	2,2% – 3,1%	3,1% – 0,9%	–

<sup>9</sup> L'inizio dello sviluppo del razzo vettore sarebbe avvenuto (o avrebbe dovuto iniziare) secondo fonti stampa nell'anno 2013, cfr. B. Perrett, *Longer Marches*, «Aviation Week», marzo 2010.

<sup>10</sup> <<http://www.spaceflight101.com/gslv-launch-vehicle-information.html>> (09/2016).

<sup>11</sup> *Polar Satellite Launch Vehicle, ISRO*, in <<http://www.isro.org/Launchvehicles/PSLV/pslv.aspx>> (09/2016).

<sup>12</sup> <<http://h2a.mhi.co.jp/en/f14/overview.html>> (09/2016).

<sup>13</sup> <<http://www.khrunichev.ru/main.php?id=46>> (09/2016).

<sup>14</sup> Attesa del lancio per il 2025, versioni: *Angara 1.1, Angara A3, Angara A5P, Angara A7, Baikal* (<<http://www.spaceflight101.com/angara.html>>, 09/2016).

Le capacità di un razzo vettore di posizionare un oggetto in orbita dipendono, oltre che dallo sviluppo e dalla potenza dello stesso, da altri generi di fattori, ovvero dalla massa del carico utile (*payload*), dalle coordinate del sito di lancio e dalla direzione del lancio stesso<sup>36</sup>, dalle caratteristiche dell'orbita<sup>37</sup>. A questo va aggiunto che, dal momento che un satellite non può essere lanciato in un'orbita con inclinazione inferiore all'altitudine del sito di lancio, nel caso si volesse lanciare un dispositivo satellitare da un sito di media altitudine con un'orbita desiderata di inclinazione vicina allo zero, le difficoltà per cambiare piano orbitale non solo sarebbero elevate, ma comporterebbero un notevole dispendio di carburante.

Posizionare un oggetto in orbita geostazionaria richiede, di solito, in una prima fase, il 'parcheggio' dello stesso in orbita bassa terrestre (200-300 km) e, successivamente, una manovra correttiva nell'orbita ellittica di trasferimento alla Hohmann (o GTO), che intersechi l'orbita circolare di inizio e quella desiderata, con accelerazione  $\Delta V$  di 2,4 km/s, e, quindi,  $\Delta V$  di 1,5 km/s per ritornare in orbita circolare. Per il raggiungimento dell'orbita geostazionaria, condizione indispensabile è che l'oggetto sia in orbita geosincrona equatoriale (inclinazione 0°). Per quanto riguarda i costi di lancio, essi sono di solito contabilizzati in rapporto alla massa dell'oggetto lanciato, circa 20 mila dollari per chilogrammo inviato in orbita bassa terrestre<sup>38</sup>. Per tale ragione, gli obiettivi chiave della ricerca hanno come *leitmotiv* l'abbattimento dei costi insieme alla riduzione della tempistica di lancio nell'ottica di un aumento considerevole della capacità di risposta militare, che passa, giocoforza, per validi sistemi alternativi di lancio.

L'oggetto da posizionare in orbita può essere aviolanciato, ovvero lanciato da un velivolo. I vantaggi di tale lancio sono materiali, economici e

<sup>36</sup> Il movimento di rotazione della Terra dà al razzo una spinta verso est, contributo alla velocità che aumenta in corrispondenza dell'equatore e con lancio di azimut pari a 90° verso est, dove risulta di 0,463 km/s e nel caso di orbite geostazionarie, lanci nei pressi dell'equatore garantiscono il raggiungimento dell'orbita con la corretta inclinazione) Allo stesso modo, se non è possibile un lancio verso est, come nel caso di orbite polari (dove i razzi riescono a trasportare meno carico utile) o per evitare che il razzo sorvoli zone abitate nelle prime fasi del lancio (così si spiega anche la bassa capacità di tonnellaggio di carico dei vettori indiani – vd. tabella 1), il contributo della rotazione terrestre non può essere utilizzato. Il Nord Corea, per ovviare a tale situazione, nel 1998 decise non troppo cautamente di lanciare un satellite indirizzando il raggio del razzo verso est, sorvolando pericolosamente il Giappone, vd. <[http://cns.miis.edu/archive/country\\_north\\_korea/factsht.htm](http://cns.miis.edu/archive/country_north_korea/factsht.htm)> (09/2016).

<sup>37</sup> L'altezza, la forma ellittica o circolare e l'inclinazione dell'orbita condizionano le capacità di lancio. Infatti se, ad esempio, un satellite ha bisogno di una particolare velocità  $V_h$  per posizionarsi in un'orbita circolare a altezza  $h$ , una velocità maggiore corrispondente a  $\sqrt{1+e}V_h$  è necessaria affinché sia raggiunta un'orbita ellittica (con eccentricità  $e$ ) nel punto di perigeo con altezza  $h$ , vd. Wright, Grego, Gronlund, *The Physics of Space Security*, cit., p. 81.

<sup>38</sup> Vd. American Physical Society (APS), *Report of the American Physical Society Study Group on Boost-Phase Intercept System for National Missile Defense*, luglio 2013, p. 127.

di tempo, non richiedendo un grande dispendio né di propellente né di denaro né di preparazione del sito di lancio. Il movimento di rotazione della Terra e il suo contributo alla velocità di lancio possono essere ugualmente utilizzati, partecipando l'atmosfera anch'essa a tale movimento. Ne sono esempio la famiglia di lanciatori *Pegasus* portati alla quota desiderata (12 km di altezza a velocità di 0,25 km/s) da bombardieri B-52 per fini militari e aerei L-1011 per uso civile<sup>39</sup>. Il *Pegasus XL* ha massa di 23 tonnellate e può portare in orbita bassa terrestre con inclinazione di 28° un carico di 450 kg, in orbita polare 330 km con inclinazione di 90° e in orbita eliosincrona (altezza superiore a 800 km) 190 kg<sup>40</sup>. Fino al mese di settembre 2014, il sistema di lancio *Pegasus* ha compiuto quarantadue missioni, di cui la prima nel 1990<sup>41</sup>.

Attualmente la ricerca in campo militare si sta indirizzando verso un tentativo di utilizzo di microsattelliti per il lancio (*MSLV, Microsatellite Launch Vehicle*), con minori capacità di carico, ma con una riduzione notevole dei costi e di tempo (200 kg a 280 km di altezza in 48 ore<sup>42</sup>), lanciati potenzialmente da bombardieri a una quota di 11,6 km di altezza (inclinazione di 60°) e velocità di 0,5 km/s<sup>43</sup>. Dopo il successo del progetto di ricerca del sistema *RASCAL (Responsive Access Small Cargo Affordable Launch)*, rilascio di un carico di 8 tonnellate a 60 km di altezza a 0,37 km/s di velocità in 24 ore, la NASA sta sviluppando un sistema di lancio a lievitazione magnetica (programma *StarTram*) da 7 km di altezza, in grado di raggiungere i 9 km/s con un'inclinazione di 10°: un treno a lievitazione magnetica che prende il volo dalla vetta di un monte verso lo spazio<sup>44</sup>.

### 2.3.2 Manovre orbitali

La difficile probabilità che un lanciatore riesca a immettere il carico direttamente nell'orbita scelta fa sì che siano necessarie delle comples-

<sup>39</sup> <[http://www.nasa.gov/mission\\_pages/launch/pegasus\\_countdown101\\_prt.htm](http://www.nasa.gov/mission_pages/launch/pegasus_countdown101_prt.htm)> (09/2016).

<sup>40</sup> *Pegasus User's Guide, Orbital Sciences Corporation*, 2010, in <[http://www.orbital.com/LaunchSystems/Publications/Pegasus\\_UsersGuide.pdf](http://www.orbital.com/LaunchSystems/Publications/Pegasus_UsersGuide.pdf)> (09/2016).

<sup>41</sup> *Pegasus Factsheet, Orbital Science Corporation*, 2014, in <[https://www.orbital.com/LaunchSystems/Publications/Pegasus\\_factsheet.pdf](https://www.orbital.com/LaunchSystems/Publications/Pegasus_factsheet.pdf)> (09/2016).

<sup>42</sup> W. Scott, *Fighters as Spacelift*, «Aviation Week and Space Technology», CLVIII (14), 7 aprile 2003, p. 72.

<sup>43</sup> Vd. sito istituzionale NASA-Darpa, in particolare il seguente indirizzo per i programmi di ricerca <<http://sbir.gsfc.nasa.gov/SBIR/abstracts/12/sbirselect/phase2/SBIR-12-2-S-E1.02-9215.html>> (09/2016).

<sup>44</sup> J. Powell, G. Maise, J. Rater, *Maglev Launch: Ultra Low Cost Ultra/High Volume Access to Space for Cargo and Humans, Spesif 2010 – Space, Propulsion, and Energy Sciences International Forum*, John Hopkins Applied Physics Laboratory, Laurel, febbraio 2010.

se manovre correttive finanche dei veri e propri cambiamenti orbitali. Si possono considerare tre tipi di manovre<sup>45</sup>: cambiamento della forma dell'orbita all'interno del piano, cambiamento del piano orbitale mutando l'inclinazione dell'orbita, cambiamento del piano orbitale attraverso la rotazione del piano intorno all'asse terrestre con inclinazione costante.

Il primo tipo di manovra implica che se un satellite in orbita circolare ad altezza  $h$  aumentasse improvvisamente la propria velocità, esso non attuerebbe una rotazione orbitale più rapida, bensì l'orbita stessa diventerebbe un'ellisse giacente sullo stesso piano dell'orbita precedente. Il perigeo, ovvero il punto più vicino alla Terra dell'orbita, sarà legato al punto esatto dove vi è stato il cambiamento di velocità all'altezza  $h$ . L'asse maggiore passerà per il centro della Terra con perigeo e apogeo come estremi opposti. L'altezza orbitale di apogeo è maggiore di  $h$  e dipende dal valore di  $\Delta V$ <sup>46</sup>.

Se viene ridotta, invece, in un determinato punto la velocità del satellite, ad esempio, da una spinta in direzione opposta a quella del suo moto, tale punto diventerà il perigeo di un'orbita ellittica con un'altezza minore e con apogeo a  $h$ . Piccoli valori di  $\Delta V$  determinano grandi cambiamenti nell'altezza di apogeo. In generale, nel caso di un'orbita ellittica, cambiamenti di velocità – ma non di direzione della spinta di accelerazione di un satellite – comportano il passaggio in un'altra orbita ellittica sullo stesso piano con differente inclinazione e forma, le quali dipenderanno dall'accelerazione e dal punto in cui questa è avvenuta. Nella situazione inversa, si può passare da un'orbita ellittica a una circolare o aumentando la velocità in apogeo o diminuendola in perigeo, in modo da ottenere, così, un'orbita circolare.

Quanto descritto può essere usato per comprendere il cambiamento di un aumento da  $h_1$  a  $h_2$ , dell'altezza di un'orbita circolare. Un aumento della velocità ( $\Delta V_1$ ), con conseguente passaggio a un'orbita ellittica (che intersecherà le due orbite) con apogeo a  $h_2$  e perigeo a  $h_1$ , determina una velocità in apogeo minore rispetto a quella che risulterebbe in un'orbita circolare con altezza  $h_2$ . L'orbita ellittica avrà, quindi, perigeo corrispondente al punto esatto di manovra e apogeo tangente all'orbita desiderata. Un'accelerazione in apogeo ( $\Delta V_2$ ) comporterà il passaggio finale all'orbita circolare<sup>47</sup>. Nonostante l'orbita finale abbia una velocità minore di quella iniziale, entrambi i cambiamenti di velocità ( $\Delta V_1$ ;  $\Delta V_2$ ) sono delle accelerazioni: tale contraddizione apparente è giustificata dal fatto che l'orbita di trasferimento, per la sua caratteristica di orbita ellittica, ha una velocità di perigeo maggiore rispetto a un'orbita circolare a parità di quota ( $h$ ) e, per

<sup>45</sup> Wright, Grego, Gronlund, *The Physics of Space Security*, cit., p. 53.

<sup>46</sup> Ivi, p. 50.

<sup>47</sup> *Ibidem*.

converso, in apogeo ha velocità minore della corrispondente orbita circolare. Inoltre, l'orbita finale, sebbene abbia un periodo di rotazione orbitale più lungo, ha velocità maggiore, data dall'altezza, o, meglio, dalla distanza maggiore dal centro della Terra, rispetto all'orbita iniziale, mentre quella di trasferimento ha velocità intermedia tra le due. L'orbita ellittica di trasferimento è denominata, dall'ingegnere tedesco che la teorizzò, orbita di trasferimento alla Hohmann. Il trasferimento richiede poco dispendio di propellente e tempo corrispondente a metà del periodo dell'orbita ellittica di trasferimento (velocità maggiori in  $V_1$  comportano tempi minori). Tale manovra è spesso utilizzata per il passaggio, della durata di cinque ore, da un'orbita terrestre bassa (LEO) a una geostazionaria (GEO). In tal caso viene denominata *Geo Transfer Orbit* (GTO).

Cambiare l'altezza e la forma dell'orbita è anche un modo per mutare il periodo orbitale, il quale dipende strettamente da questi due fattori<sup>48</sup>. A titolo di esempio, si considerino due satelliti nella stessa orbita circolare. Avendo la stessa velocità, la distanza dei due rimane invariata, mentre un cambiamento di velocità implicherebbe un cambiamento dell'orbita stessa. Quindi, un satellite potrebbe essere parcheggiato temporaneamente in un'orbita maggiore o minore per cambiarne il periodo orbitale e, poi, essere riposizionato nell'orbita iniziale nella posizione desiderata (propellente e tempo sono strettamente legati, essendo di solito necessaria una lunga attesa per la posizione scelta)<sup>49</sup>. Tale è la manovra per i *rendez-vous* tra satelliti, nonché per il posizionamento di costellazioni di satelliti sulla stessa orbita per aumentarne la copertura a seconda delle funzioni<sup>50</sup>.

Per quanto riguarda la seconda tipologia di manovre orbitali, le manovre che cambiano il piano dell'orbita richiedono un cambiamento della direzione del moto dell'oggetto<sup>51</sup>. Il tipico cambiamento di piano orbitale si ottiene cambiando l'inclinazione dell'orbita ( $\Delta\theta$ <sup>52</sup>). Dal momento che la velocità orbitale decresce con l'altezza e varia dai circa 3,1 km/s in orbita geosincrona a 7,8 km/s a 200 km di altezza<sup>53</sup>, un cambiamento

<sup>48</sup> Ivi, p. 52.

<sup>49</sup> *Ibidem*. Dare a un satellite, dei due considerati a un'altezza esemplificativa di 400 km, la velocità di 0,1 km/s, con un conseguente trasferimento nell'orbita ellittica, aumenta il suo periodo orbitale di 3,6 minuti e richiede il passaggio di 13 orbite nonché un'attesa di 20 ore per spostarlo a metà strada corrispondente intorno all'orbita dell'altro satellite. Ritrasferirlo sull'orbita originale richiede una spinta ulteriore di 0,1 km/s (per un totale di 0,2 km/s). Raddoppiare il totale della velocità impiegata dimezza, poi, i tempi di transizione dal momento che cambia il periodo orbitale del satellite di circa il doppio (7,2 minuti).

<sup>50</sup> Ivi, p. 54.

<sup>51</sup> *Ibidem*.

<sup>52</sup> Dove  $\theta$  è la misura dell'angolo di inclinazione del piano orbitale rispetto al piano equatoriale terrestre.

<sup>53</sup> Wright, Grego, Gronlund, *The Physics of Space Security*, cit., p. 21.

di direzione richiede una velocità maggiore in direzione perpendicolare alla velocità orbitale. È usuale compiere tali manovre, quando possibile, a alte quote. Questo è anche il motivo per cui, se un satellite è stato programmato per raggiungere un'orbita equatoriale geosincrona a inclinazione zero, ma viene lanciato da un sito con inclinazione diversa da zero, l'aggiustamento avverrà solo dopo aver raggiunto l'orbita geosincrona e non in orbite inferiori.

Considerato il rapporto direttamente proporzionale tra variazione di velocità ( $\Delta V$ ) e cambiamento di inclinazione ( $\Delta\theta$ ), movimenti complessi per rotazione maggiori vengono effettuati attraverso tre fasi successive: un aumento della velocità che aumenta anche la distanza di apogeo dalla Terra; la rotazione nell'inclinazione desiderata in apogeo, dove la velocità è minore; un aumento della velocità per ritornare alla quota del valore iniziale di apogeo<sup>54</sup>. Tale procedura, tuttavia, risente di un eccessivo dispendio di tempo a causa del passaggio doppio da un'orbita a un'altra.

Un'altra manovra che richiede elevate difficoltà è la rotazione del piano orbitale intorno all'asse della Terra mantenendo la stessa inclinazione, o, in altri termini, una rotazione, a inclinazione fissa, della linea che interseca il piano orbitale e il piano equatoriale intorno all'asse terrestre. Ne è esempio pratico il caso in cui più satelliti vengono posizionati in orbita da uno stesso lanciatore per spostarsi in differenti piani orbitali, tutti con la medesima inclinazione, al fine di aumentare la loro copertura. La velocità richiesta per questo tipo di manovra dipende dall'angolo di rotazione del piano orbitale e dall'altezza (quindi, dalla velocità stessa) del satellite.

Alcuni dispositivi settati per missioni particolari potrebbero utilizzare i propulsori per accelerare fuori dall'orbita o per ritornare sulla Terra: sarebbe il caso di sistema d'arma orbitali progettate per colpire sulla superficie terrestre, oltre che la soluzione migliore per cercare di porre un freno all'aumento incontrollato di satelliti e ripulire l'orbita bassa terrestre da detriti spaziali. Sebbene la ricerca si stia orientando verso soluzioni alternative, come l'utilizzo di cavi spaziali elettrodinamici (progetto *BETs* della Commissione Europea<sup>55</sup>), l'utilizzo di razzi a propulsione rimane ancora il metodo principale per tali manovre. La velocità richiesta dipenderà da quanto rapidamente si vorrà far ricadere l'oggetto sulla Terra, ricaduta che, nelle basse orbite a contatto con l'atmosfera, sarà assai difficoltosa. Il processo di uscita dell'oggetto dall'orbita ('de-orbitazione') avviene, di solito, attraverso un propulsore che dà una spinta in direzione opposta al moto dell'oggetto e che lo costringerà a spostarsi su

<sup>54</sup> Ivi, p. 55.

<sup>55</sup> La sigla sta per *Bare Electrodynamic Tethers*, per maggiori dettagli si rimanda al blog ufficiale del progetto (<<http://www.thebetsproject.com/>>) e al seguente link di un video esemplificativo: <<http://www.thebetsproject.com/blog-artID-21>> (09/2016).

orbite ellittiche con perigeo sempre più vicino alla Terra, annullando la velocità iniziale e abbandonandolo alle leggi della gravità. Un oggetto posizionato a 3000 km con velocità iniziale di 6,5 km/s impiegherebbe circa 19 minuti per compiere tale manovra. Sistemi d'arma orbitali a una probabile altezza compresa tra i 500 km (velocità orbitale di 7,6 km/s) e i 1 000 km (velocità orbitale di 7,4 km/s) diminuiscono i tempi di impatto con il suolo con un aumento di  $\Delta V$  (vd. tabella 2.2<sup>56</sup>) fino a tempi minimi di pochi minuti (2,1 a velocità di 4 km/s), un tempo che renderebbe estremamente difficile attuare dovute contromisure.

Per non bruciare a contatto con l'atmosfera, a meno che non si voglia raggiungere proprio tale scopo (potrebbe essere il caso, ad esempio, per i detriti spaziali), il dispositivo deve essere in possesso di uno scudo termico e viaggiare a non elevata velocità: più è veloce e più saranno alte le probabilità di combustione. Per armamenti spaziali, come armi a energia cinetica o missili balistici, la velocità è un fattore determinante per la loro efficienza. Essa deve essere almeno pari a 3 km/s per eguagliare energia cinetica e energia rilasciata durante l'impatto, a parità di massa con l'esplosivo<sup>57</sup>. Come termine di paragone, un veicolo moderno, che trasporta una testata nucleare è costruito per oltrepassare l'atmosfera rapidamente, ha una velocità di circa 2,5 km/s, mentre a una velocità maggiore avrebbe buone possibilità di causare danni a contatto con l'atmosfera. Un penetratore di tungsteno (armi a energia cinetica) sarebbe più efficace a combattere tali problematiche, ma potrebbe riportare danni sulla punta del proiettile, riducendo, così, la propria potenza<sup>58</sup>. Viaggiando a 5 km/s, esso ha capacità di resistenza di circa otto volte superiore a una testata nucleare nell'esempio di 2,5 km/s di velocità<sup>59</sup>. Una componente della forza aerodinamica, la portanza, riguardante il profilo alare del velivolo, è determinante per stabilire la traiettoria e non è affatto di facile dominio.

Altre difficoltà nascono da lievi asimmetrie nel campo gravitazionale terrestre dovute alla non perfetta sfericità del pianeta, all'attrazione gravitazionale lunare e solare, alle radiazioni solari e, per gli oggetti orbitanti in prossimità della Terra, alla resistenza atmosferica. È necessario in tal caso compiere costantemente piccole manovre correttive per mantenere l'orbita designata. I satelliti devono, così, avere con abbastanza propel-

<sup>56</sup> La tabella è stata ripresa da Wright, Grego, Gronlund, *The Physics of Space Security*, cit., p. 66. Calcolo, raffronto e implicazioni dei valori sono ad opera nostra.

<sup>57</sup> L'energia rilasciata dal trinitrotoluene (TNT) è di circa 1 000 calorie per grammo, ovvero  $4,2 \times 10^6$  J/kg, mentre l'energia cinetica di un kg di massa in movimento a 3 km/s è  $V^2/2 = 4,5 \times 10^6$  j/kg. Cfr. <<http://geophysics.nmsu.edu/chapter01.html>> (09/2016).

<sup>58</sup> Wright, Grego, Gronlund, *The Physics of Space Security*, cit., p. 60.

<sup>59</sup> *Ibidem*.

lente: quest'ultimo dipende, da un lato, dalla distanza del satellite dalla Terra (orbite basse hanno resistenze maggiori) e dal tipo di propulsore scelto; dall'altro, da un fattore esogeno funzione di quanto accuratamente vada mantenuta l'orbita per alcuni tipi di satelliti, sottostanti a norme e accordi internazionali e, per tali ragioni, strettamente sorvegliati (satelliti che stazionano in orbite geosincrone possono interferire tra di loro, se non ne viene ben organizzato il moto)<sup>60</sup>.

La relazione tra aumento della velocità richiesta per compiere determinate manovre ( $\Delta V$ ), massa di propellente necessario ( $M_p$ ) e massa del satellite, escluso il propellente, appunto,  $M_s$ , è racchiusa nella cosiddetta equazione del razzo o di Ciolkovskij (pioniere dell'astronautica russo), la quale afferma che, per la legge di conservazione della quantità di moto, un corpo può accelerare espellendo parte della sua massa nella direzione opposta a quella dell'aumento della velocità desiderato. La massa di propellente necessaria a compiere una determinata accelerazione dipende dalla massa del satellite e dal momento in cui avviene la manovra, ovvero se nella fase di accelerazione ( $\Delta V/\Delta t$ , variazione della velocità rispetto alla variazione del tempo) iniziale o meno<sup>61</sup>.

Tabella 2.2 – Aumento della velocità e tempi di impatto.

Distanza dalla Terra (km)	$\Delta V$ (km/s)	Tempo di de-orbitazione	
		Coefficiente balistico 150 000 N/m <sup>2</sup>	Coefficiente balistico 15 000 N/m <sup>2</sup>
500	0,7	14,6	15,2
	1	9,4	10,3
	2	4,4	5,5
	4	2,1	2,9
1 000	1,4	14,4	15,3
	2	9,1	10,2
	4	4,3	5,1
	6	2,8	3,4
3 000	4	14	15,1
	6	8,7	9,4

<sup>60</sup> *Ibidem.*

<sup>61</sup> *Ibidem.*



## PARTE SECONDA

### OSSERVAZIONE DEL FENOMENO



## CAPITOLO 3

### I DISPOSITIVI SATELLITARI

A satellite vehicle with appropriate instrumentation can be expected to be one of the most potent scientific tools of the Twentieth Century. The achievement of a satellite craft by United States would inflame the imagination of mankind, would produce repercussion comparable to the explosion of the atomic bomb.

[Robert M. Salter<sup>1</sup> *et al.*, *Preliminary Design of a World-Circling Spaceship*, RAND Corporation, 1946]

Pensare ai satelliti rischia di far scivolare immediatamente la mente alla considerazione quanto mai errata che questi siano passati fuori moda. Il loro attuale ricambio e l'uso sempre maggiore dello spazio come autostrada per lo scambio di notevole quantità di dati, siano flussi di dati sensore per attività di *intelligence* o informazioni per le attività di Comando e Controllo (C2), hanno dato, e daranno nel prossimo futuro in maniera ancora più forte, importanza al ruolo del satellite, o meglio dell'oggetto orbitante, che non rappresenterà più solamente la presenza di un attore in un'arena, in un campo di battaglia, ma ne qualificherà il tentativo di acquisizione di maggiore potenza. Attività di ELINT o di osservazione si rivelano, così, determinanti e il nesso di un sistema di comunicazione e di invio dati rappresenta la vera sfida quantitativa e qualitativa del futuro del settore spaziale.

L'aumento dell'utilizzo strategico-militare di sorveglianza, comunicazione e *intelligence* dello spazio, C4ISR, è il sentore dell'importanza strategico-militare dello stesso, come se fosse in atto una proiezione in quote sempre più elevate delle attività operative. Così, mentre a fine 2001 si potevano contare 170 satelliti militari operativi<sup>2</sup>, oggi il numero si è quasi quadruplicato, fino a raggiungere il numero considerevole di 515<sup>3</sup>. E da tale numero vanno esclusi i sistemi di satelliti globali di

<sup>1</sup> All'ing. Salter va il merito, tra i tanti, di essere stato tra i primi ad immaginare il satellite come raccogliitore di informazioni in funzioni di riconoscimento elettronico. R.M. Salter *et al.*, *Utility of a Satellite Vehicle for Reconnaissance*, RAND Corporation, Santa Monica, aprile 1951.

<sup>2</sup> Di cui 110 degli Stati Uniti, 40 della Russia e 20 del resto del mondo, vd. J. Pitke, *The military uses of outer space*, in *SIPRI Yearbook 2002 – Armaments, Disarmament and International Security*, Oxford University Press, Oxford 2002, pp. 613-664.

<sup>3</sup> Per una visione dettagliata dei satelliti con funzioni militari o di tipo militare, in generale, si confronti Appendice al lavoro di Tesi.

navigazione, tra cui il GPS (65 satelliti), il GLONASS russo (*Global'naja Navigacionnaja Sputnikovaja Sistema* – 129 satelliti) e il Galileo europeo (6 satelliti) che hanno utilizzo duale, ma che sono correntemente usati dalle forze armate nazionali<sup>4</sup>.

### 3.1 Elementi di un satellite

I satelliti artificiali sono dispositivi spaziali, o oggetti la cui orbita ruota intorno a un corpo celeste, volutamente posizionati nell'orbita desiderata con mezzi tecnologici e che svolgono funzioni di supporto a attività umane, siano esse a fini scientifici, commerciali, civili o militari. Un sistema satellitare comprende: il dispositivo satellitare; il centro operativo, ossia la stazione di terra usata per il controllo e le manovre; il collegamento tra la base e il dispositivo. I satelliti possono avere le più varie dimensioni: ampie, come, di solito, per quelli per le telecomunicazioni (il corpo del satellite *Boeing 702mp* in orbita arriva a 8,6 metri, mentre se si considerano anche i pannelli solari raggiunge i 36,9 metri<sup>5</sup>) o minuscole, come il caso dei 'satelliti miniaturizzati' (il progetto del Politecnico Statale della California e dell'Università di Stanford prevede lo sviluppo dei cosiddetti *CubeSat*, satelliti dalle dimensioni di un cubo di 10×10×10 cm)<sup>6</sup>.

I componenti fondamentali di un satellite sono i seguenti<sup>7</sup>.

- a) Carrozza: costituita dalla struttura, dal telaio e dal corpo centrale sede del motore per le manovre orbitali, è costruita in modo tale da dover resistere alla fase di lancio e di messa in orbita. Può essere rivestita anche da una vernice riflettente particolare, che le garantisca una certa protezione dal calore solare assorbito e da eventuali attacchi laser (es. *dazdling*).
- b) Sottosistema di controllo termico: tale sistema mantiene le parti attive del satellite a una certa temperatura al fine di garantirne il corretto funzionamento, ossia per i dispositivi elettronici da -20 °C a +55 °C, per la batteria a bordo da 0 °C a +30/40 °C, per le celle solari da

<sup>4</sup> Per un costante aggiornamento dei lanci satellitari si consiglia la consultazione dei siti: <<http://www.n2yo.com/>>; <<https://www.space-track.org/>>; <<http://www.norad.mil/>> (09/2016).

<sup>5</sup> <<http://www.boeing.com/boeing/defense-space/space/bss/factsheets/702/702b.page>> (09/2016).

<sup>6</sup> Cfr. <<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/cubesat-concept>>; per approfondimenti sui *cubesat* vd. <<http://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?feature=4330>>; sull'interessante costruzione 'casalinga' di tale dispositivo, vd. <<http://www.cubesatkit.com/>> (09/2016).

<sup>7</sup> D. Wright, L. Grego, L. Gronlund, *The Physics of Space Security*, American Academy of Arts and Science, Cambridge 2005, pp. 111 ss.

-190 °C a +60 °C, per i sistemi dissipanti da -10 °C a +80°C<sup>8</sup>. Alcune parti, infatti, come il computer e il ricevitore, possono surriscaldarsi, oppure l'esposizione alla luce solare può aumentare notevolmente la temperatura della superficie del satellite, spesso dotato di strumenti altamente riflettenti o isolanti (pannelli di alluminio e nanotubi di carbonio<sup>9</sup>), mentre la restante energia, in parte, viene assorbita e, in parte, trasmessa. In assenza di atmosfera, il calore non può essere ridotto, o meglio trasferito, attraverso il processo di conduzione e di convezione. Il satellite, quindi, trasferisce calore tramite irraggiamento<sup>10</sup>. In molti casi, il sistema di controllo termico è qualificabile come sistema passivo. Si tratta infatti di un insieme di condotti termici (*heat pipes*) e radiatori per 'condurre' il calore lontano. Comunque, alcuni componenti, come i sensori a infrarossi, possono aver bisogno di un sistema di raffreddamento *cryogenic-cooled* (raffreddamento di materiali superconduttori tramite fluido criogenico, la cui perdita può causare gravi danni al sistema). Un attacco laser che dovesse alterare la temperatura interna del satellite potrebbe apportare danni compromettenti e disintegrare l'apparato elettronico e la struttura stessa del dispositivo.

- c) Sistema per il fabbisogno energetico: l'alimentazione energetica è solitamente fornita da pannelli solari che trasmettono energia a batterie ricaricabili, dove viene immagazzinata, per salvaguardare il corretto approvvigionamento anche nelle zone di ombra (per i satelliti geostazionari i periodi di eclissi accadono novanta volte l'anno per una durata di circa 70 minuti<sup>11</sup>). I recenti sviluppi tecnologici hanno portato a un alto livello di energia immagazzinata per unità di massa e aumentato l'affidabilità e la durata delle batterie (di solito, agli ioni di litio, in quanto garantiscono un ottimo rapporto tra vita utile, peso specifico e volume)<sup>12</sup>. Le celle solari vengono montate sul corpo del satellite o su pannelli laterali. Il loro montaggio sul corpo del satellite ne dà una configurazione più compatta (preferibile con spazio limitato e massa ridotta o se il satellite debba agire in incognito), ma dal momento che le celle non saranno costantemente illuminate dal Sole, l'energia generata sarà in misura minore rispetto a quella che avrebbero potuto

<sup>8</sup> A. Maini, V. Agrawal, *Satellite Technology: Principles and Applications*, John Wiley & Sons Ltd, Chichester 2006, cap. 4, pp. 127-181.

<sup>9</sup> Vd. il progetto della NASA *Blacker than Black* (<<http://www.nasa.gov/topics/technology/features/new-nano.html>>, 09/2016).

<sup>10</sup> Wright, Grego, Gronlund, *The Physics of Space Security*, cit., p. 110.

<sup>11</sup> B. Pattan, *Satellite Systems: Principles and Technologies*, Van Nostrand Reinhold, New York 1993, pp. 26-29.

<sup>12</sup> Sull'argomento, vd. Y. Borthomieu, *Satellite Lithium Ion-Batteries*, in G. Pistoia (a cura di), *Lithium-Ion Batteries: Advances and Applications*, Elsevier, Amsterdam 2014, cap. 14, pp. 311-344.

generare su pannelli laterali maggiormente esposti alla luce solare<sup>13</sup>. I pannelli solari occupano una superficie relativa maggiore rispetto agli altri elementi del satellite, aumentando la possibilità di essere colpiti dalle particelle di detriti che invadono l'orbita terrestre. Nonostante la fragilità delle celle solari, danni qui eventualmente subiti difficilmente comprometterebbero l'uso dell'intero dispositivo, ma ne altererebbero le capacità energetiche<sup>14</sup>. Tuttavia, in caso di un loro malfunzionamento, un dispositivo con a disposizione un'altra fonte di energia funzionerebbe ugualmente e con le stesse capacità. Fonti alternative di energia possono essere reattori nucleari come generatori termoelettrici a radioisotopi (RTG, *Radioisotope Thermoelectric Generator*) arricchiti di uranio o plutonio, il cui decadimento genera calore, o veri e propri reattori nucleari<sup>15</sup>. La possibilità di perdita di componenti radioattive nell'atmosfera e, quindi, sulla superficie terrestre (come la caduta 'incontrollata' nel 1978 del satellite Rorsat sovietico *Cosmos 954*, i cui pezzi in avaria caddero sul territorio canadese, fortunatamente in una zona pressoché inabitata, provocando un livello misurabile di inquinamento radioattivo) o di incidenti durante la fase di lancio (come i timori di caduta di ingenti quantità di plutonio dopo l'incidente dello *Space Shuttle Challenger* del 1986) hanno aumentato a tal punto le norme di sicurezza che attualmente questi rischi sembrano ormai remoti<sup>16</sup>. I reattori nucleari restano, comunque, una componente primaria di ogni possibile sviluppo di un sistema d'arma spaziale che necessiti dell'impiego dallo spazio di una notevole quantità di energia.

- d) Sistema di controllo: i computer di bordo monitorano lo stato e il corretto funzionamento dei sottosistemi del satellite, ne controllano le attività e l'elaborazione dei dati. Alcuni satelliti possono incorporare dei sistemi atti a impedire eventuali interferenze ostili (es. *anti-jamming hardware*). Nell'eventualità che entità ostili entrassero in possesso del computer del dispositivo, quest'ultimo verrebbe reso inaccessibile. I computer di bordo sono estremamente sensibili al campo elettroma-

<sup>13</sup> I pannelli solari vengono orientati in modo da fornire 130 W/m<sup>2</sup> e 50 W/kg di energia, mentre, qualora siano montati sul corpo del satellite, riuscirebbero a garantire dai 30 ai 35 W/m<sup>2</sup> e dai 8 ai 12 W/kg di energia. Vd. G. Maral, M. Bousquet, *Satellite Communications Systems*, Wiley, West Sussex 2002 (IV ed.), p. 598.

<sup>14</sup> Si vedano i danni subiti durante il dispiegamento dei pannelli solari, che hanno perso circa il 50% delle loro capacità lasciando al satellite il 75% dell'energia designata, dal satellite per le comunicazioni Intelsat-19 (*Intelsat 19 Mission Update*, Intelsat, 14 giugno 2012, comunicato stampa rilasciato il 15 giugno 2012).

<sup>15</sup> Wright, Grego, Gronlund, *The Physics of Space Security*, cit., p. 111.

<sup>16</sup> Vd. documenti USPID (Unione degli Scienziati per il Disarmo). Di seguito si rimanda a un documento dello scienziato italiano Paolo Farinella, che ha dato il nome anche a un asteroide (3248 Farinella): <[http://www.uspid.org/Documenti/AltriDocumenti/Archivio/Articoli/1995\\_07\\_Farinella.pdf](http://www.uspid.org/Documenti/AltriDocumenti/Archivio/Articoli/1995_07_Farinella.pdf)> (09/2016).

- gnetico e rischierebbero, ad esempio durante eventuali tempeste solari danni irreparabili, tra cui la caduta del satellite stesso<sup>17</sup>.
- e) Sistema di comunicazione: va da sé che la comunicazione tra il satellite e la stazione a terra, o tra satelliti, debba essere necessariamente garantita. Il sistema consiste in un ricevitore, un trasmettitore e almeno una antenna radio. Il collegamento radio tra il satellite e la Terra è una delle parti più critiche e vulnerabili della struttura. Questo riguarda il corretto espletamento delle funzioni di telemetria, tracciamento e comando (TT&C)<sup>18</sup>: funzioni essenziali che controllano lo stato di salute degli altri sistemi del satellite. I ricevitori nello spazio e sulla superficie terrestre possono essere sovraccaricati da segnali estranei (*jamming*) o “confusi” da falsi segnali (*spoofing*). Le interferenze con il canale TT&C possono causare, in generale, gravi danni. Per tale ragione tali sistemi di comunicazione sono spesso molto ben protetti e criptati da codici. Il sistema occupa, tuttavia, solo una minore parte del regime di lunghezza di banda di frequenza assegnata al satellite.<sup>19</sup> Un attacco *jamming* deve partire dalla zona di trasmissione e ricezione del canale di comunicazione del sistema TT&C, ovvero dalla regione in cui un utente può comunicare con il satellite. Restringere l’area di attacco, aumentando la precisione e l’accuratezza del segnale dell’antenna (spesso vuol dire aumentare le dimensioni dell’antenna) può favorire la protezione del sistema (tale soluzione non è ugualmente valida per quei dispositivi, in particolare quelli militari, che necessitano di supporti da ampie e svariate aree geografiche)<sup>20</sup>.
- f) Sistema di controllo di assetto: tale sistema garantisce il corretto posizionamento del dispositivo include giroscopi, accelerometri e sistemi di guida visiva. Un controllo costante e accurato incrementa la qualità del segnale e dei sensori. Se il sistema di controllo di assetto non dovesse funzionare, la probabilità di utilizzo del satellite diminuirebbe in maniera esponenziale<sup>21</sup>.

<sup>17</sup> Wright, Grego, Gronlund, *The Physics of Space Security*, cit., p. 112.

<sup>18</sup> Per telemetria si intende le informazioni che il satellite invia alla stazione di controllo riguardo lo stato e le attività dei suoi componenti; per tracciamento, invece, la conoscenza della posizione esatta del dispositivo (di solito si utilizza il tempo impiegato dal segnale per raggiungere la stazione di Terra); per comando si fa riferimento ai segnali necessari per il controllo operativo del satellite.

<sup>19</sup> A ogni satellite, infatti, è affidata una banda di frequenza da utilizzare. La quantità di dati inviati dipende anche dall’ampiezza delle banda. Le considerazioni nel testo a riguardo sono il frutto di una conversazione telefonica avvenuta in data venerdì 30 gennaio 2015 con il dr. Chrigo Grogan, Senior Vice-President Customer Service Delivery alla SES S.A. e Advertiser alla SDA (*Space Data Association*).

<sup>20</sup> Wright, Grego, Gronlund, *The Physics of Space Security*, cit., p. 112.

<sup>21</sup> Nell’ottobre 1997 il commercio di capitali nel Bombay National Stock Exchange si fermò per quattro giorni in seguito alla perdita di controllo di assetto del satellite

- g) Sottosistema di propulsione: il sistema di propulsione del dispositivo include il motore necessario per il lancio e il posizionamento in orbita, piccoli propulsori usati per il mantenimento dell'orbita e il controllo di assetto e propulsori di più grandi dimensioni per altri tipi di manovra. Un cattivo funzionamento del sistema di propulsione, a causa di danni o perdita di propellente, potrebbe anche non compromettere l'uso complessivo del satellite. Comunque, in orbite basse, visto il numero eccessivo di satelliti, ogni dispositivo per non arrecare danni ai propri vicini deve essere in grado di mantenere in maniera stabile e accurata la propria posizione e, insieme, essere sottoposto a continui controlli per non rischiare un decadimento della stessa.
- h) *Payload* (carico utile): si tratta degli apparati per assolvere alle mansioni e alla missione specifica del dispositivo. Dipende dai compiti particolari (telecomunicazione, osservazione della Terra, fine scientifico, astronomico ecc.) e può comprendere, a seconda dei casi<sup>22</sup>, ricevitore, trasmettitore e *transponder* (trasposizione dal canale di ricezione a quello di trasmissione) radio, in aggiunta agli strumenti necessari alla comunicazione, un dispositivo può contenere anche strumenti simili per altre finalità, come una antenna (parabolica o a forma conica con corno di alimentazione) per raccogliere i segnali radio, ma anche telefonici o televisivi, per ritrasmetterli a sua volta. Quando il sistema viene designato per ricevere automaticamente una trasmissione, amplificarla e inviarla sulla Terra, anche a differenti frequenze, è chiamato *transponder*. Il sistema radar posizionato sul satellite è anch'esso composto da trasmettitore e ricevitore per inviare e ricevere le onde radio. I ricevitori sono utilizzati anche per lo spionaggio di segnali elettromagnetici per le attività di *intelligence* (SIGINT): intercettazioni di comunicazioni militari nemiche, rilevazioni delle frequenze dei radar nemici, raccolta telemetrica dei test di missili balistici. Un satellite emette segnali attraverso il proprio trasmettitore per un sistema di posizionamento globale, come il GPS, verso uno specifico ricevitore sulla Terra o al fine di ampliare la potenza del segnale a una più ampia area. Il carico utile contiene poi il sistema di telerilevamento (*Remote Sensing*). Le specifiche missioni del satellite possono riguardare la raccolta di accurate immagini della superficie terrestre, dell'atmosfera e degli oggetti nello spazio o di altri tipi di dati, in generale, attraverso sensori ottici, spettrografi (per studiare le lunghezze d'onda della luce) e dispositivi a accoppiamento di carica (es. CCD, *Charge-Coupled Device*). Questi strumenti, convertendo fotone-elettrone in silicio e

Insat-2D. Il problema fu attribuito a una mancanza di energia e le perdite furono stimate intorno ai 2 miliardi di dollari. Cfr. M. Williams, *Galaxy IV Failure Reliance on Satellites*, «Government Computer News», 20 maggio 1998.

<sup>22</sup> Wright, Grego, Gronlund, *The Physics of Space Security*, cit., p. 113.

assorbendo letteralmente la luce per trasformarla in carica elettrica da trasmettere a un computer, dove viene immagazzinata in condensatori di immagine (*pixel*), rappresentano degli ottimi fotorivelatori, per individuare, ad esempio, potenziali asteroidi in rotta di collisione con la Terra. La conversione e la successiva amplificazione avviene ora all'interno di ogni pixel grazie al cosiddetto sistema CMOS (*Complementary Metal-Oxide-Semiconductor*), che offre un consumo energetico minore, una maggiore integrazione del sistema e insieme la possibilità di installazione in dispositivi di piccole dimensioni<sup>23</sup>. L'ipotesi che del payload faccia parte anche un sistema d'arma, ad esempio, laser o esplosivi, potrebbe avere lo scopo di attaccare più probabilmente altri satelliti così come obiettivi nello spazio orbitale e meno rivolgere i propri attacchi agli altri ambienti operativi.

La base di terra svolge funzioni di controllo e monitoraggio, visualizza lo stato di salute del dispositivo e dei suoi elementi, riceve e trasmette i dati. L'antenna utilizzata a tale uso non deve necessariamente essere collocata soltanto all'interno della stazione: per essere in contatto costante con un satellite non in orbita geostazionaria, ma la cui orbita è relativamente vicina alla Terra, è necessario avere delle antenne dislocate in più postazioni.

Vi possono essere, quindi, altri tipi di stazioni. Ad esempio, per un satellite per le comunicazioni, dal momento che riveste solo il compito di trasmettere dati (diffusioni video/immagini, comunicazioni vocali, autorizzazioni al prelievo allo sportello automatico, ma anche comunicazioni militari) è necessario che ogni utilizzatore finale possieda un'antenna per tali scopi specifici<sup>24</sup>. Le stazioni di terra sono, in generale, scarsamente protette e vulnerabili a attacchi, i cui effetti possono essere in parte mitigati favorendo lo sviluppo di stazioni di controllo alternative. La connessione a internet dei computer e dei dispositivi informatici presenti nelle stazioni ne aumenta considerevolmente la possibilità di attacco, anche se in misura minore per le stazioni militari dotate di alti dispositivi di sicurezza con reti proprie.

I collegamenti, infine, tra la stazione di terra e il satellite sono definibili come *uplink* (trasmissione di segnale dalla stazione al satellite), *downlink* (trasmissione di segnale dal satellite alla stazione), *crosslink* (trasmissione di segnale tra satelliti) o collegamento di telemetria, tracciamento e comando (TT&C), parte quest'ultimo dei collegamenti *uplink*

<sup>23</sup> <[http://esamultimedia.esa.int/docs/technology/SucsStor\\_final.pdf](http://esamultimedia.esa.int/docs/technology/SucsStor_final.pdf)> (09/2016).

<sup>24</sup> Basta pensare alle classiche antenne Yagi per le comunicazioni dei radioamatori. Sulle antenne Yagi si consiglia: <http://www.yagiantenna.net/> (09/2016); J.L. Lawson Jr., *Yagi Antenna Design*, Amer Radio Relay League, Newington 1986.

e *dowlink* utilizzati per controllare le funzioni e lo stato di salute del dispositivo satellitare<sup>25</sup>.

I collegamenti *uplink* e *dowlink* sono altamente vulnerabili a interferenze ostili, le quali non hanno bisogno di segnali particolarmente forti per il disturbo, considerata la scarsa resistenza del segnale radio nella fase di ricerca dell'antenna ricevente. Le interferenze con i collegamenti possono anche intervenire attraverso un isolante alle onde radio (come un materiale ferromagnetico o un foglio di materiale superconduttore) nel percorso tra il satellite e la stazione di terra, in particolare, al fine di aumentarne gli effetti, in prossimità del ricevitore o del trasmettitore.

### 3.2 Classificazione dei satelliti

Sono molte le categorie in cui vengono classificati i dispositivi satellitari: per costo, per tipo di funzione svolta, per massa, per tipo di orbita. La classificazione a seconda della massa permette di ben considerare il rapporto tra carico utile e lanciatore, oltre all'importanza strategica e tattica che può rivestire tale distinzione<sup>26</sup>.

Accanto ai satelliti di taglia grande (massa superiore a 1000 kg) e ai dispositivi di taglia media (500-1000 kg), un particolare maggiore interesse, all'interno del settore difesa, in particolar modo per la tattica, così come del corrispondente mercato<sup>27</sup>, ha suscitato, anche a livello globale, l'uso dei cosiddetti 'satelliti miniaturizzati', ovvero di massa al di sotto dei 500 kg<sup>28</sup>.

Questi possono essere così suddivisi in microsattelliti (o piccoli satelliti), con massa tra 100 e 500 kg, carburante compreso (es. ELISA<sup>29</sup>, ESSAIM<sup>30</sup>), microsattelliti (o microsat), con massa tra 10 e 100 kg (es. MiTEX<sup>31</sup>, *TacSat*<sup>32</sup>; spesso tali dispositivi agiscono in folte costellazioni, dette 'sciami', per garantire un'ampia copertura), nanosatelliti (o nano-

<sup>25</sup> Wright, Grego, Gronlund, *The Physics of Space Security*, cit., pp. 114-115.

<sup>26</sup> <[http://www.daviddarling.info/encyclopedia/S/satellite\\_mass\\_categories.html](http://www.daviddarling.info/encyclopedia/S/satellite_mass_categories.html)> (09/2016).

<sup>27</sup> Cfr. *Small Is Beautiful: US Military Explores Use of Microsatellites*, «Defense Industry Daily», 30 giugno 2011, <<http://www.defenseindustrydaily.com/Small-Is-Beautiful-US-Military-Explores-Use-of-Microsatellites-06720/>> (09/2016).

<sup>28</sup> Per le cifre dettagliate del settore di mercato, si consiglia il report della *SpaceWork Enterprise Inc.*, <[http://www.sei.aero/eng/papers/uploads/archive/SpaceWorks\\_Nano\\_Microsatellite\\_Market\\_Assessment\\_January\\_2014.pdf](http://www.sei.aero/eng/papers/uploads/archive/SpaceWorks_Nano_Microsatellite_Market_Assessment_January_2014.pdf)> (09/2016).

<sup>29</sup> <<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/ssot>> (09/2016).

<sup>30</sup> <<http://www.space-airbusds.com/en/programme/essaim-okb.html>> (09/2016).

<sup>31</sup> <<http://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2007-5434>> (09/2016).

<sup>32</sup> <<http://www.nrl.navy.mil/research/nrl-review/2004/space-research-and-satellite-technology/hurley/>> (09/2016).

sat), con massa tra 1 e 10 kg (es. ORBCOMM<sup>33</sup>), picosatelliti (o picosat), con massa tra i 100 e i 1 000 g (es. *CubeSat*<sup>34</sup>), femtosatelliti (o femtosat)<sup>35</sup>, con massa tra 1 e 100 g (es. *KickSat*<sup>36</sup>).

Il mantenimento dei costi, collegato alle possibili alternative di messa in orbita e altamente concorrenziale anche con l'utilizzo di aeromobili a comando remoto (UAV)<sup>37</sup>, l'utilizzo di componenti elettronici di ultima generazione, la previsione di una vita utile operativa limitata sono tutti benefici strategico-operativi dell'utilizzo di dispositivi satellitari di piccole dimensioni. Vantaggi aggiuntivi sono i tempi di risposta, concretizzandosi la possibilità di abbattere notevolmente i tempi di messa in orbita e dei ritorni operativi, da sempre una questione problematica degli assetti spaziali, l'accesso autonomo allo spazio come garanzia di una completa indipendenza per il completo espletamento delle capacità operative C4ISTAR, la riservatezza del lancio, la quale, oltre all'aumento delle possibilità di riuscita della missione, esclude il ricorso ai lanciatori comuni e ai siti di lancio, per i quali, spesso, è necessaria una prenotazione di mesi o anni di anticipo<sup>38</sup>.

A conferma di quanto detto, il Piano Spaziale della Difesa (PSD, ed. 2010-2020), sottolinea come<sup>39</sup>:

Auspiciabilmente, la Difesa mantenga una conoscenza ad ampio spettro delle opzioni disponibili dei lanciatori tradizionali sia in ambito nazionale, sia internazionale. Al tempo stesso appare importante seguire i progetti di nuovi sistemi per lo sviluppo di lanciatori operabili dal poligono di Malindi, o riutilizzabili all'interno del programma PROPRA [Programma nazionale di Ricerca Aerospaziale] dell'ASI [Agenzia Spaziale Italiana] per i sistemi aviotrasportati dedicati ai microsattelliti.

A questo, va aggiunta la possibilità di nuove tecniche, inclusa, ad esempio, la scelta di propellente solido per aumentare la velocità di stoc-

<sup>33</sup> Cfr. <<http://www.orbcomm.com/about/companyInfo.htm>>; mentre sull'uso sperimentale dei nanosatelliti insieme ai *CubeSat* si consiglia D.M. Meissner, *A Three Degrees of Freedom Test-Bed for Nanosatellite and CubeSat Attitude Dynamics, Determination, and Control*, Naval Postgraduate School, Monterey 2009, <<http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a514295.pdf>> (09/2016).

<sup>34</sup> Vd. nota n. 194.

<sup>35</sup> J. Tristancho, J. Gutierrez, *Implementation of a femto-satellite and a mini-launcher*, Universitat Politècnica de Catalunya, 2010, <<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/9652/1/memoria.pdf>>; <<http://www.spaceflightnow.com/falcon9/09/140413kicksat/>> (09/2016).

<sup>36</sup> <<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/content/-/article/kicksat>> (09/2016).

<sup>37</sup> Cfr. G. Falcucci, *I microsattelliti: potenzialità e possibili impieghi operativi per la Difesa*, «Aeronautica», XI, 2010, pp. 8-11.

<sup>38</sup> Ivi, p. 9.

<sup>39</sup> Ivi, p. 10.

caggio e di preparazione del razzo, di assemblaggio del dispositivo, consistente anche nella capacità di una stessa carrozza di contenere diversi carichi utili, con funzioni di tipo diverso, finanche missioni di osservazione, con garanzia di copertura prolungata rispetto ai classici satelliti geostazionari o un servizio equamente suddiviso nel tempo, supportato adeguatamente da assetti UAV<sup>40</sup>.

Missioni di tipo ELINT, invece, potrebbero svelare un apporto maggiore di satelliti di piccole dimensioni che consentirebbero, così, la determinazione esatta della zona di trasmissione attraverso la triangolazione della costellazione e una copertura globale, considerata la possibilità per i satelliti di poter sorvolare zone altrimenti interdette, con costi limitati e eliminando gli svantaggi degli UAV di *endurance*, manutenzione, esercizio e rischio abbattimento<sup>41</sup>.

Circa le funzioni verranno di seguito considerati, al fine di mettere in risalto e la rilevanza strategica del settore e i tipi di utilizzo adottati, solamente i dispositivi satellitari di utilizzo militare che possono essere divisi in satelliti per le comunicazioni militari, satelliti per l'osservazione e il telerilevamento, comprendenti, a loro volta, i satelliti *early warning*, i satelliti di sorveglianza (*Image Intelligence* – satelliti IMINT e *Signals Intelligence* – satelliti SIGINT) e satelliti per il rilevamento di esplosioni nucleari, i satelliti per le previsioni meteo e i dispositivi per la navigazione, localizzazione e soccorso.

### 3.2.1 Satelliti per le comunicazioni

L'esigenza di contatti continui all'interno delle Forze Armate tra centri di comando e unità periferiche, mezzi mobili come navi e aerei, ha trovato nella comunicazione radio la propria garanzia necessaria. Si è deciso, così, dal momento che le comunicazioni sono possibili solo tra mezzi in visibilità reciproca (*line of sight*), di coprire la superficie terrestre di ponti radio, posti nelle zone più elevate per assicurare una linea di vista non limitata da ostacoli, quali, ad esempio, la curvatura terrestre<sup>42</sup>.

I problemi sorgono quando i contatti tra utenti troppo lontani rendono inadatte persino le comunicazioni, in grado di coprire solo qual-

<sup>40</sup> Cfr. Office of the Secretary of Defense, *Unmanned Aircraft System Roadmap, 2005-2030*, agosto 2005; F. Kuhnert, A. Garrison, *Nanosat/Microsat Constellations and Next Generation Unmanned System Strategy, Advanced Concepts-Rapid Response Space, Advanced Program & Technology Division Aerospace System Sector*, Redondo Beach, Northrop Grumman Systems Corporation, 2011, <<http://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1129&context=smallsat>> (09/2016).

<sup>41</sup> L. Mazzini, A. Intelisano, *L'uso dei microsatelliti nelle operazioni tattiche*, «Aeronautica», VI, 2011, pp. 84-91.

<sup>42</sup> F. Borrini, *La Componente Spaziale nella Difesa*, Rubbettino, Soveria Mannelli 2006, p. 25.

che centinaio di chilometri, in banda HF (onda corta), che rimbalzano sugli strati della ionosfera, e quelle in banda dal VHF (*Very High Frequency*) al SHF (*Super High Frequency*), che si propagano nella troposfera (*troposcatter*)<sup>43</sup>. L'uso di così alte frequenze (nella tabella di seguito in rapporto all'utilizzo del dispositivo) aumenta l'incolumità di tali sistemi da attacchi elettronici, riducendo le possibilità nemiche di *jamming*, oltre a offrire vantaggi pratici nella sicurezza nella fase di trasmissione e di ricezione. È importante sottolineare che un satellite militare va distinto da un satellite commerciale, utilizzatore a parte, dalla necessità di invio di un numero notevole di informazioni e di un suo uso ininterrotto in momenti di crisi.

Le difficoltà relative alla dipendenza della propagazione ionosferica da orario, stagioni e attività solare, cosa che ha spinto negli anni Cinquanta la marina statunitense a far rimbalzare i segnali radio sulla Luna, e dalla necessaria installazione di antenne molto lunghe sui dispositivi mobili ha trovato parziale soluzione nei satelliti artificiali. Dal lancio del primo satellite statunitense per le telecomunicazioni *Score* nel 1958, che prevedeva un meccanismo di registrazione dei messaggi e di invio al mittente appena giunto in vista (*Store and Forward*), passando per imprevedibili esperimenti, tra i quali la creazione di nubi orbitali di aghi intorno alla Terra, si è giunti grazie alla tecnologia dei lanciatori, capace di portare in orbita carichi utili sufficientemente elevati, alla strategia vincente dei satelliti in orbita geostazionaria (orbita circolare, equatoriale a circa 36000 km di altezza)<sup>44</sup>.

Un satellite geostazionario, essendo visibile da poco meno della metà del globo, facilmente controllabile con poche manovre e avendo una vita lunga tra i dieci e i quindici anni, costituisce il ponte radio ideale per un sistema di comunicazione. La quota elevata garantisce il corretto impiego delle celle solari, che si trovano a dover far fronte ai coni d'ombra terrestri solamente nei due periodi, nell'arco di un anno, di eclissi. La tecnologia delle antenne delle stazioni di terra, poi, è semplificata dalla necessità di puntare il segnale verso un punto fisso e immobile nel cielo<sup>45</sup>. Razzi lanciatori molto potenti, indispensabili per lanciare un satellite a tali altezze, non rappresentano uno svantaggio equiparabile alla quantità di propellente elevata – è da comprendersi anche le scorte per la vita operativa – e ai relativi costi di questi sistemi spaziali insieme alle

<sup>43</sup> In particolare le frequenze in banda HF vanno dai 3 ai 30 MHz (lunghezza d'onda da 100 m a 10 m), quelle in VHF dai 30 ai 300 MHz (dai 10 m a 1 m) e in SHF dai 3 ai 30 GHz (da 10 cm a 1 cm). Le frequenze EHF (*Extremely High Frequency*) vengono utilizzate per il telerilevamento.

<sup>44</sup> Vd. cap. 1 e cap. 2 in riferimento alle caratteristiche dei satelliti e dell'orbita geostazionaria.

<sup>45</sup> Borrini, *La Componente Spaziale nella Difesa*, cit., p. 26.

Tabella 3.1 – Banda di frequenza e differente uso militare/commerciale.

Segmento	Banda di frequenza	Larghezza di banda	Uso	Satellite
UHF ( <i>Ultra High Frequency</i> )	200-400 MHz L (1.5-1.6 GHz)	160 KHz 47 MHz	Militare Commerciale	FLTSAT <sup>1</sup> , LEASAT <sup>2</sup> Marisat <sup>3</sup> , Inmarsat <sup>4</sup>
	C (6/4 GHz)	200 MHz	Commerciale	Intelsat <sup>5</sup> , DOMSAT <sup>6</sup>
SHF ( <i>Super High Frequency</i> )	X (8/7 GHz)	500 MHz	Militare	DSCS <sup>7</sup> , Skynet <sup>8</sup> , NATO <sup>9</sup> , SICRAL <sup>10</sup>
	Ku (14/12 GHz)	500 MHz	Commerciale	Intelsat, DOMSAT
	Ka (30/20 GHz)	2 500 MHz	Commerciale	JCS <sup>11</sup>
	Ka (30/20 GHz)	1 000 MHz	Militare	DSCS-IV <sup>12</sup>
EHF ( <i>Extremely High Frequency</i> )	Q (44/20 GHz)	3 500 MHz	Militare	Milstar <sup>13</sup>
	V (64/59 GHz)	5 000 MHz	Militare	Crosslinks <sup>14</sup>

<sup>1</sup> <<http://www.globalsecurity.org/space/systems/fltsat.htm>> (09/2016).

<sup>2</sup> <<http://fas.org/spp/military/program/com/leasat.htm>> (09/2016).

<sup>3</sup> <<http://www.boeingimages.com/archive/Marisat,-the-First-Maritime-Telecommunications-Satellite-System-2F3XC5JCTHL.html>> (12/16).

<sup>4</sup> <<http://www.inmarsat.com/news/new-l-tac-service-delivers-tactical-satcoms-from-military-radios/>> (12/2016).

<sup>5</sup> <<http://www.intelsat.com/about-us/in-the-industry/c-band-spectrum/>> (12/2016).

<sup>6</sup> <<http://www.noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/satservices.html>> (12/2016).

<sup>7</sup> <[http://fas.org/spp/military/program/com/dscs\\_3.htm](http://fas.org/spp/military/program/com/dscs_3.htm)> (09/2016).

<sup>8</sup> <[http://fas.org/spp/military/docops/army/ref\\_text/chap07b.htm](http://fas.org/spp/military/docops/army/ref_text/chap07b.htm)> (09/2016).

<sup>9</sup> <[http://www.nato.int/cps/en/natohq/topics\\_50092.htm](http://www.nato.int/cps/en/natohq/topics_50092.htm)> (09/2016).

<sup>10</sup> <[http://www.aiad.it/aiad\\_res/cms/documents/TELESPAZIOsicralita.pdf](http://www.aiad.it/aiad_res/cms/documents/TELESPAZIOsicralita.pdf)> (09/2016).

<sup>11</sup> <[http://fas.org/spp/military/docops/army/ref\\_text/chap07b.htm](http://fas.org/spp/military/docops/army/ref_text/chap07b.htm)> (09/2016).

<sup>12</sup> <<http://jproc.ca/rrp/satcomm.html>> (09/2016).

<sup>13</sup> <[http://fas.org/spp/military/docops/army/ref\\_text/chap07b.htm](http://fas.org/spp/military/docops/army/ref_text/chap07b.htm)> (09/2016).

<sup>14</sup> <<http://www.airforce-technology.com/projects/advanced-extremely-high-frequency-aehf/>> (09/2016).

possibili interferenze tra satelliti molto vicini, che richiedono un complesso lavoro di coordinamento internazionale, e alla meno problematica non copertura delle zone polari<sup>46</sup>.

Attualmente, la maggior parte degli attori utilizza i satelliti geostazionari per le telecomunicazioni nei suoi scopi civili, eccezion fatta per i sistemi cellulari, e negli scopi militari, magari con l'aggiunta di satelliti in orbite maggiormente inclinate, quindi maggiormente eccentriche per coprire anche le zone polari.

### 3.2.2 Satelliti per l'osservazione e il telerilevamento

L'osservazione delle proprie forze e di quelle nemiche è stato uno degli scopi principali della conquista dello spazio, come parte di quelle 'informazioni' che in guerra, lo ricorda Clausewitz, costituiscono uno di quei grandi crepacci tra il progetto e l'esecuzione<sup>47</sup>. Così, l'aeronautica statunitense negli anni Cinquanta aveva dato il via all'installazione di dispositivi spia (progetto *Discover*) ben prima dell'invio di satelliti a scopi scientifici. I limiti operativi dei sistemi a osservazione ottica, oggi perlopiù superati, consistevano nella dipendenza dalla illuminazione a disposizione, dalla vicinanza all'oggetto per garantire una risoluzione adeguata e dall'accuratezza del puntamento del bersaglio. La scelta delle orbite basse (150-200 km), che comportavano una breve durata della vita del satellite tra una e due settimane, e la memorizzazione delle immagini su pellicola ampliavano le possibilità di utilizzo di vere e proprie astronavi – tale era il sistema sovietico, arrivato quasi a un lancio al giorno dell'astronave *Vostok* – piuttosto che di dispositivi satellitari, in modo da recuperare l'intero veicolo e ottenere due o tre passaggi sul sito di interesse<sup>48</sup>. Il progresso tecnologico ha aumentato inevitabilmente la qualità delle immagini fino a giungere alle odierne telecamere digitali e all'installazione di telescopi di notevole potenza, incrementando anche il peso e la quantità di propellente imbarcato. Si parla, ad esempio, per gli attuali satelliti spia statunitensi, gli *KH-12 Kennan*, per un peso di 16,5 tonnellate, di una risoluzione all'ordine del centimetro<sup>49</sup>. Sembrano così far parte di un passato ormai remoto le risoluzioni del periodo Guerra fredda di circa 40 metri seppur con capacità multispettrale, ovvero di ripresa in varie lunghezze d'onda ricostruite, poi, a falsi colori (di solito, ad esempio, alla vegetazione viene attribuito il rosso), che permette di

<sup>46</sup> Per approfondimenti a riguardo v. Appendice.

<sup>47</sup> Clausewitz, *Della Guerra*, cit., libro I, cap. VI, pp. 84-85.

<sup>48</sup> Borrini, *La Componente Spaziale della Difesa*, cit., p. 52.

<sup>49</sup> Ivi, p. 53.

distinguere varie tipologie di terreno<sup>50</sup>. La collocazione in orbite polari consente l'osservazione di tutta la superficie terrestre e l'eccentricità dell'orbita permette a tali dispositivi di restare per la maggior parte del tempo in quote elevate dove la resistenza dell'aria è bassa, mentre le riprese vengono effettuate a quote basse per aumentarne la risoluzione<sup>51</sup>. Le attività di osservazione della Terra, il cosiddetto 'telerilevamento', sono accessibili oggi a tutti: è possibile comprare immagini di satelliti di osservazione dalla serie francese *Spot*, che ha dato il via alla commercializzazione delle immagini satellitari, alla *Digitalglobe*, che nell'agosto 2014 ha messo davanti agli occhi dell'opinione pubblica mondiale le immagini delle truppe russe all'interno dei confini ucraini (sui satelliti IMINT si avrà modo di tornare in seguito)<sup>52</sup>. I satelliti per risorse terrestri, maggiormente noti con l'espressione inglese di *Remote Sensing*, occupano le orbite eliosincrone in modo da osservare quasi l'intero pianeta e mantenere la necessaria luminosità per tutto il periodo di vita a discapito della frequenza di osservazione, il *revisit time*, ossia le volte in cui il dispositivo passa su un medesimo punto, aumentate parzialmente dalla capacità di osservazione laterale fino a un massimo di una volta al giorno per tre giorni su cinque<sup>53</sup>. Il vincolo delle condizioni meteorologiche e dell'osservazione diurna è pur sempre stringente nonostante l'installazione di sensori operanti nell'infrarosso, che garantiscono, comunque, una risoluzione minore rispetto ai comuni sistemi di osservazione ottica. In alcune aree dalle condizioni meteo sfortunate, l'osservazione diventa quasi impraticabile. Ad esempio, *Spot 1*, come riporta Francesco Borrini, ha impiegato tre anni prima di riuscire a vedere la stazione di Korou nelle Guyane francese<sup>54</sup>. Ecco perché il radar a apertura sintetica (*Synthetic Aperture Radar*, SAR) si è dimostrato sin da subito la soluzione ideale. Tale sistema a microonde spazza intere aree di interesse per sovrapporre i segnali raccolti con angoli diversi a seconda del suo moto<sup>55</sup>. È facilmente intuibile come superfici omogenee come l'acqua aiutino notevolmente la risoluzione dell'immagine e perché, di conseguenza, il primo satellite a utilizzare un sensore SAR sia stato il *Seasat* della NASA, lanciato in

<sup>50</sup> Per approfondimenti si consiglia di visitare il sito della Planetek Italia, società che si occupa di acquisizione, archiviazione, gestione, analisi e condivisione (<<http://www.planetek.it/>>, 09/2016).

<sup>51</sup> Borrini, *La Componente Spaziale nella Difesa*, cit., p. 54.

<sup>52</sup> <<http://aco.nato.int/new-satellite-imagery-exposes-russian-combat-troops-in-side-ukraine.aspx>> (09/2016).

<sup>53</sup> I satelliti sincronizzati con il Sole passano su una particolare latitudine alla medesima ora locale.

<sup>54</sup> Borrini, *La Componente Spaziale nella Difesa*, cit., p. 55.

<sup>55</sup> Per approfondimenti vd. *Proceedings / EUSAR 2004 Buch. Vol. 1*, 5th European Conference on Synthetic Aperture Radar, 25-27 Maggio Ulm, Germania.

orbita nel 1978<sup>56</sup>, mentre piccole perturbazioni o superficie leggermente non omogenee, persino un prato incolto soggetto alle forze del vento, complicano tali rilevamenti<sup>57</sup>. Un sistema SAR generalmente ha un particolare tipo di antenna, detta antenna *Phased Array*, che consente di orientare elettronicamente, generare e cambiare la forma del fascio di onde elettromagnetiche o di annullare il segnale in determinate direzioni<sup>58</sup>. Esso, inoltre, non è in grado di osservare perpendicolarmente la zona sottostante all'antenna. È possibile l'osservazione in un determinato riferimento temporale (sistema di radar coerente) in una forbice precisa tra minimo e massimo di inclinazione<sup>59</sup>. La posizione e la larghezza di tale zona osservabile (*cross-track*) sono determinate dal puntamento e dall'intervallo tra due impulsi successivi, mentre la lunghezza (*along-track*) dipende dal moto del dispositivo satellitare<sup>60</sup>. La qualità dell'immagine di un sistema SAR si basa sulla risoluzione geometrica, ovvero la capacità di distinzione di due oggetti a una data distanza (ottenuta in *cross-track* attraverso la differenza temporale tra i segnali ricevuti e in *along-track* attraverso una valutazione delle differenze angolari, la quale risulterà tanto più accurata quanto più è lunga la 'strisciata', o l'antenna), sul livello dei lobi laterali nella riflessione di punti con minore intensità di eco da eliminare per garantire l'accuratezza dell'osservazione, sul rapporto segnale/ambiguità degli echi di segnali precedenti rilevati dai lobi laterali dell'antenna creando, così, falsi bersagli, o 'fantasmi', sulla risoluzione radiometrica, ossia la capacità di distinzione tra obiettivi estesi con riflettività diverse (rumore/*speckle*), sul rumore di fondo (*clutter*), indotto da possibili riflessioni del segnale trasmesso della superficie terrestre, ad esempio, a causa delle condizioni meteorologiche, che possono mascherare la presenza di veri echi radar, e, da ultimo, sulla dinamica lineare, consistente nell'intervallo entro il quale è garantito il normale funzionamento del dispositivo<sup>61</sup>. Il sistema SAR può essere installato oltre che sui

<sup>56</sup> <<https://earth.esa.int/web/guest/missions/3rd-party-missions/historical-missions/seasat>> (09/2016).

<sup>57</sup> Considerazioni tecniche sulle caratteristiche dei sensori sono il frutto di un incontro avvenuto con il dr. Giampaolo Preti della *Selex-Es - Avionics & Space* in data 11 dicembre 2014, con particolare riferimento agli orientamenti dell'industria aerospaziale italiana e al mercato globale relativamente all'uso di tali sensori, compresi quelli ottici, e, in generale sulle possibilità di sviluppo dell'attuale mercato in situazioni pericolosamente oligopolistiche, dove il margine per imprese di medio o piccole dimensioni è quasi nullo.

<sup>58</sup> Se-Young Kim, Noh-Hoon Myung, *An Optimal Antenna Pattern Synthesis for Active Phased Array SAR Based on Particle Swarm Optimization and Adaptive Weighting Factor*, «Progress In Electromagnetics Research C», X, 2009, pp. 129-142.

<sup>59</sup> Borrini, *La Componente Spaziale nella Difesa*, cit., p. 54.

<sup>60</sup> Ivi, p. 67.

<sup>61</sup> Ivi, p. 66.

satelliti anche su aeromobili, UAV e sistemi aerei nell'atmosfera a quote elevate in banda Ka (27-40 GHz)<sup>62</sup>, mentre la costellazione di satelliti appare come la normale soluzione alle problematiche temporali, nella gestione di situazioni di crisi, dove sarà necessario monitorare la zona di interesse almeno con una frequenza di una volta al giorno affiancati da dispositivi a infrarossi per l'osservazione notturna.

### *Satelliti early-warning*

La questione dell'intercettazione di un missile ostile è stata la cornice allo sviluppo meno recente di un potere spaziale, attorno al quale ruotano le risposte a tale problematica. Durante il conflitto bipolare della Guerra fredda, individuare un missile balistico intercontinentale (ICBM) dell'avversario rappresentava un'esigenza prioritaria – a maggior ragione, se si considera che la pace si basava sulla dottrina della *Mutual Assured Destruction* (MAD), ossia di rappresaglia di pari grado a un attacco con missili nucleari.

L'elevato numero di falsi allarmi che hanno caratterizzato i primi sistemi ad allarmi precoci (*early warning*) a Infrarosso Termico (IT), i quali davano l'allarme per qualsiasi emissione termica sufficientemente forte, incendi compresi, ha spostato dagli anni Ottanta in poi, cioè dalla sfida reaganiana del programma SDI (*Strategic Defense Initiative*), la centralità dell'argomento, dal punto di vista dei sensori, verso l'individuazione non solo della guida a infrarosso del missile ma anche di quella 'fredda' delle testate in volo balistico (si pensi che un missile sovietico dell'epoca era capace di trasportare almeno dieci testate nucleari oltre a un ingente numero di falsi bersagli – *decoy*)<sup>63</sup>. Furono, così, sviluppati sensori passivi in grado di operare in altre bande di frequenza, come l'ultravioletto, insieme a altri tipi di radar, come quelli a *scattering* elettromagnetico<sup>64</sup>. I costi minori di una saturazione di mezzi di offesa nell'ambiente spaziale e l'impossibile impenetrabilità di uno scudo spaziale hanno fatto in modo che la ricerca in campo tecnologico-militare ponesse almeno termine alla forsennata ricerca di conquista della capacità di annientare cinque, sei, sette volte il genere umano a vantaggio di un progressivo disarmo nucleare. Conclusasi la Guerra fredda, il più modesto programma BMD (*Ballistic Missile Defense*) si limitava a porre in orbita, nei casi estremi, i soli sensori e testate con base a terra per la fase di intercettazione. La minaccia di modesti arsenali missilistici, sebbene in fase di continua evolu-

<sup>62</sup> Cfr. <[http://www.ssbv.com/resources/Datasheets/SSBV\\_DefenceSecuritySAR\\_radar\\_Datasheet\\_1a--A4version.pdf](http://www.ssbv.com/resources/Datasheets/SSBV_DefenceSecuritySAR_radar_Datasheet_1a--A4version.pdf)> (09/2016).

<sup>63</sup> Borrini, *La Componente Spaziale nella Difesa*, cit., p. 75.

<sup>64</sup> A. Worthington, *Chemtrails: Aerosol and Electromagnetic Weapons in the Age of Nuclear War*, ><http://www.globalresearch.ca>>, giugno 2004 (<<http://globalresearch.ca/articles/WOR406A.html>>, 09/2016).

zione, ha quasi del tutto eliminato il rischio *decoys*, considerato che è la sola resistenza dell'aria a discriminare le varie testate, mentre la notizia dell'avvenuto lancio è un'informazione sufficiente per sistemi che operano solo nella fase terminale<sup>65</sup>. Questioni diverse si pongono nel caso di oggetti che costituiscono oggi una delle maggiori minacce alla sicurezza, quali i missili da crociera e gli UAV. Per rendersi conto della rappresentazione delle minacce percepite nel mondo post-bipolare è possibile fare riferimento al Gruppo di Lavoro dell'Organizzazione Atlantica (*System Analysis and Studies*, SAS-010), incaricato sul finire degli anni Novanta di individuare i rischi strategico-militari futuri, suddividendoli nelle tre categorie dei missili da crociera stratosferici volanti e a velocità supersonica, dei missili da crociera convenzionali, volanti a quota bassa, subsonici o transonici e degli aeromobili convertiti o macchine dai simili funzionamenti<sup>66</sup>. Gli ultimi, a disposizione anche degli Stati e degli attori meno organizzati e con bassa tecnologia, gruppi terroristici compresi, rappresentavano un rischio notevole, essendo facilmente equipaggiabili con armi di distruzione di massa, chimiche o batteriologiche. Nessuno strumento con base nello spazio era e tuttora è capace di fornire un allarme tempestivo e intercettare tale tipologia di velivoli a causa della loro traccia troppo 'fredda' non individuabile dai sensori passivi o dai sensori radar dei satelliti<sup>67</sup>.

La denuncia dell'*ABM Treaty* da parte dell'amministrazione Bush nelle fasi successive ai fatti dell'undici settembre 2001<sup>68</sup> e la linea d'azione dettata dall'allora sottosegretario alla difesa Donald H. Rumsfeld nel

<sup>65</sup> Borrini, *La Componente Spaziale nella Difesa*, cit., p. 75.

<sup>66</sup> RTO-TR-003-V1-System Solutions to Defeat Cruise Missiles and Attack UAVs, RTO-TR-3, I, AC/323(SAS)TP/2, marzo 1999.

<sup>67</sup> *Ibidem*.

<sup>68</sup> Così George W. Bush, Jr. nel testo dell'annuncio di denuncia del trattato dopo il *National Security Council* del 13 dicembre 2001, contenuti confermati, poi, nella nota diplomatica inviata a Russia, Bielorussia, Kazakistan e Ucraina: «Sono arrivato ora alla conclusione che il trattato ABM ostacola la capacità del nostro governo di sviluppare il modo di proteggere il nostro popolo da atti di terrore futuri o attacchi missilistici di Stati canaglia. Il Trattato ABM del 1972 fu firmato dagli Stati Uniti e dall'Unione Sovietica in un periodo assai diverso, in un mondo ampiamente diverso. Uno degli Stati firmatari, l'Unione Sovietica, non esiste più. E neanche l'ostilità che portò entrambi i paesi allora a mantenere il ditto sul grilletto per l'innesto di migliaia di armi nucleari puntate l'uno contro l'altro. La *grim theory* [punizione indefinitamente continuativa a seguito di una sola defezione dell'avversario] consisteva nell'assunto che nessuno Stato avrebbe mai lanciato un attacco nucleare poiché era esso stesso a conoscenza che l'altro avrebbe risposto, fino alla distruzione di entrambi. Oggi, eventi come quello dell'undici Settembre hanno reso tutto più chiaro, le più grandi minacce ai nostri paesi non provengono da loro stessi, ma da terroristi che colpiscono senza alcuna allerta, o Stati canaglia che mirano a colpire con armi di distruzione di massa. Sappiamo che i terroristi, e alcuni di quelli che supportano, vogliono raggiungere capacità missilistiche in grado di porre morte e distruzione sull'uscio delle nostre case. E dobbiamo avere autonomia e flessibili-

noto memorandum sul *Missile Defense Program* del gennaio 2002 hanno sottolineato le quattro priorità statunitensi nell'area (interessante notare come tale elenco confermi quanto sinora detto in maniera approfondita sul significato, sulle implicazioni e sulle componenti dello *spacepower*, vd. cap. 1): la difesa degli Stati Uniti, delle loro forze e dei loro alleati, l'impiego a vari livelli delle fasi di volo e contro ogni tipo di minaccia di un sistema di difesa contro missili balistici, *Ballistic Missile Defense System* (BMDS), la veloce operatività delle componenti del BMDS che vede nelle sue fasi iniziali lo schieramento di sistemi *Patriot Advanced Capability - 3* (PAC 3) contro missili a corto raggio, lo sviluppo di moderne tecnologie per fornire una repentina e incrementata capacità di difesa<sup>69</sup>.

È anche intorno al giudizio sulla necessità di una difesa adeguata che ruota il futuro assetto strategico dello spazio extra-atmosferico, almeno in rapporto alle minacce percepite. L'intercettazione del missile a seconda delle fasi della sua traiettoria balistica, la fase di spinta (*boost phase*), la fase intermedia (*midcourse phase*) e la fase terminale (*terminal phase*) corrispondenti alla fase di accelerazione per vincere la gravità terrestre (3-5 minuti), alla fase del volo (circa 20 minuti) e alla breve fase di rientro nell'atmosfera a velocità di 3500 km/h, raggiunge diversi obiettivi e coperture<sup>70</sup>. La capacità di colpire il missile nella prima fase, infatti, ne rende possibile una completa distruzione a prescindere dalla sua gittata e dal suo target, mentre nelle altre due è raggiungibile al più la difesa di una regione o di un'area ben definita. Si capisce perciò perché assuma tanta importanza individuare e intercettare quanto prima il missile per ridurre la sua capacità distruttiva (*kill probability*), soprattutto in caso di carichi utili altamente letali (es. WMD).

### *Satelliti IMINT*

I satelliti IMINT permettono di ottenere mappe e immagini a elevata risoluzione di intere aree geografiche, di installazioni e operazioni militari, di truppe sul campo di battaglia e altre zone sensibili. Tale tipologia, largamente utilizzata nell'operazione *Desert Storm* (prima Guerra del Golfo)<sup>71</sup>, rappresenta una parte numerica rilevante dei dispositivi satellitari a uso militare. Generalmente posizionati in orbite basse quasi polari a 500-3000 km di altezza aumentano la risoluzione per le immagini ravvicinate in primo piano (*close up*). La risoluzione può arrivare persino ai dettagli più minuti nell'ordine di qualche centimetro. A causa della

tà per lo sviluppo di difese efficaci contro tali attacchi» (<[http://www.armscontrol.org/act/2002\\_01-02/docjanfeb02](http://www.armscontrol.org/act/2002_01-02/docjanfeb02)>, 09/2016).

<sup>69</sup> Cfr. <<http://fas.org/ssp/bmd/d20020102mda.pdf>> (09/2016).

<sup>70</sup> <<http://www.mda.mil/system/elements.html>> (09/2016).

<sup>71</sup> W.K. Wark, *Introduction: 'Learning to Live With Intelligence'*, in W.K. Wark (a cura di), *Twenty-First Century Intelligence*, Routledge, New York 2005, p. 19.

forte resistenza aerodinamica, dovuta alla bassa quota, la vita operativa di un satellite IMINT è mediamente di qualche settimana<sup>72</sup>. Comunque anche satelliti non propriamente militari vengono di solito adoperati a fine militari, in particolar modo quelli dotati di un'ottima qualità dell'immagine come i satelliti ORBIMAGE-4 (*Orbital imaging corporation*) e *QuickBird*<sup>73</sup>. I satelliti IMINT possono, a loro volta, essere suddivisi in satelliti a osservazione ravvicinata (*close look*) con fotografie a alta risoluzione che arrivano sulla Terra tramite capsula di rientro, o a area di indagine (*area survey*), bassa risoluzione e trasmissione via radio, oppure a seconda della frequenza di onda in PHOTOINT o satelliti a immagine ottica, in satelliti a immagine elettroottica e in satelliti a immagine radar<sup>74</sup>. I satelliti PHOTOINT hanno un sensore di luce per individuare i lanci missilistici e catturare immagini su pellicola, ormai obsolete ma presenti ancora data l'età di alcuni dispositivi satellitari, o via schermo. I primi comprendono camera e capsula di rientro, attraverso la quale vengono inviate le pellicole, rilasciate in orbita e, poi, recuperate da un velivolo nell'arco di un paio di giorni. Viene difficile immaginare un uso costante nel caso di gestione di crisi internazionali, considerati i tempi affatto corti per l'ottenimento dell'immagine, la quale, in aggiunta, non può essere catturata in situazione meteorologiche avverse o nelle fasi diurne. La modalità di invio dell'altra tipologia, attraverso cioè ritrasmissione elettronica, accelera di gran lunga il processo, pressoché istantaneo (ne sono esempi i satelliti *Key-Hole* – KH, cui si è accennato sopra). Immagini ad ampio raggio vengono ottenute da satelliti elettroottici anche attraverso sensori a infrarossi. Camere a sensori CCD o CMOS assegnano un differente valore digitale numerico a ogni variazione di luce dell'immagine che viene trasmesso alla stazione di Terra e qui assemblato per riformare la ripresa iniziale, anche in notturna, ma difficilmente ottenibile in situazione particolarmente nuvolose<sup>75</sup>. I satelliti a immagine radar superano le problematiche ambientali. L'esempio dei sistemi SAR è accompagnato da altri tipi di dispositivi di rilevamento come la tecnologia Doppler, per la quale non è necessario rimodulare i *ranging code*, o la GMTI (*Ground Moving Target Indication*), utilizzato soprattutto per i movimenti dei vei-

<sup>72</sup> Maini, Agrawal, *Satellite Technology: Principles and Applications*, cit., p. 614.

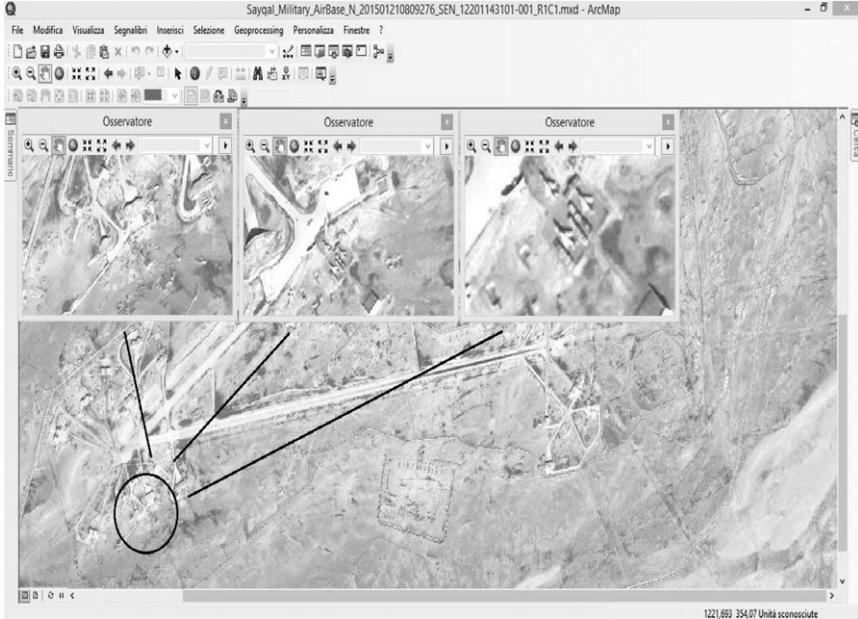
<sup>73</sup> Cfr. <[http://fas.org/irp/imint/docs/rst/Intro/Part2\\_26e.html](http://fas.org/irp/imint/docs/rst/Intro/Part2_26e.html)>, per avere un'idea della risoluzione e della qualità delle immagini di tali dispositivi si rimanda a <<http://geofuse.geoeeye.com/landing/>> e <<http://www.digitalglobe.com/index.php/85/QuickBird>> (09/2016).

<sup>74</sup> Maini, Agrawal, *Satellite Technology: Principles and Applications*, cit., p. 614.

<sup>75</sup> Per una visione di insieme sui prossimi sviluppi dell'osservazione e del rilevamento satellitare si consiglia W. Scott Bell, *Commercial Eyes in Space: Implications for U.S. Military Operations in 2030*, Blue Horizon Paper, Center for Strategy and Technology, Air War College, marzo 2008.

coli su strada, poiché l'accuratezza del segnale elimina quasi completamente ogni genere di disturbo<sup>76</sup>.

Figura 3.1 – Immagine dell'aeroporto di Saiqal in Siria catturata il 21 gennaio 2015 alle ore 08:09:27.9 dal satellite Pléiades PHR1A (concessione Airbus Defence and Space – Geo-Intelligence). in primo piano, usando ArcGis, è possibile vedere tre velivoli da combattimento.



### Satelliti SIGINT

Tale dispositivi individuano trasmissioni di comunicazione in radiodiffusione e sistemi radar, radio o elettronici. I satelliti SIGINT, arrivati oggi a un elevato livello di raffinatezza, intercettano e decriptano comunicazioni via radio protette militari o diplomatiche, intercettano le misure di sostegno elettronico (*Electronic Support Measures, ESM*), ossia la raccolta di informazioni attraverso l'ascolto passivo delle radiazioni elettromagnetiche di interesse militare, ricevono segnali telemetrici durante i test missilistici e rilasciano messaggi radio per i servizi segreti operanti all'estero<sup>77</sup>. Il SIGINT è considerato di gran lunga la più sofisticata e importante modalità di *intelligence* tanto che il fatto che non riesca a intercettare le comunicazioni da rete fissa passa, senza problemi eccessivi, in secondo piano<sup>78</sup>.

<sup>76</sup> Maini, Agrawal, *Satellite Technology: Principles and Applications*, cit., p. 618.

<sup>77</sup> Vd. P. Hays, *United States Military Space: Into the Twenty-First Century*, INSS Occasional Paper 42, USAF Institute for National Security Studies, 2002.

<sup>78</sup> Maini, Agrawal, *Satellite Technology: Principles and Applications*, cit., p. 618.

I satelliti SIGINT<sup>79</sup> si suddividono in *communications intelligence* (COMINT) ed *electronic intelligence* (ELINT), tra cui i segnali telemetrici (TE-LINT) e trasmissioni radar (RADINT). I satelliti ELINT, che svolgono la funzione di supporto tattico a missioni dell'aeronautica o delle forze armate in generale, rivestono un ruolo determinante nella guerra elettronica, nella *Network Centric Warfare* e nell'uso strategico-militare della tecnologia informatica.

*De facto*, qualsiasi tipo di emissione elettromagnetica, incluse quelle di segnali o cavi non adeguatamente protetti, possono essere agevolmente intercettate da ogni attore che possieda sistemi di intercettazione e ascolto con base a terra, su aeromobili o nello spazio (tra gli altri: Stati Uniti – ECHELON, Vortex; Russia – Tselina; Cina – Ji Shu Shiyan Weixing, JSSW; Francia – Essaim<sup>80</sup>), talvolta liberati come subsatelliti da satelliti di altro tipo<sup>81</sup>.

La capacità di intercettare in ogni dove, attraverso delle discriminanti che operano esclusivamente per via informatica attraverso l'isolamento di una serie di vocaboli considerati come sensibili, rende estremamente importante tale tipo di *intelligence*, *a fortiori* per un attore che ha interesse in zone geografiche lontane dalla propria, ovvero non raggiungibili con sistemi di intercettazione a terra o su aeromobile, e che ha avanzate capacità aerospaziali che consentano il lancio autonomo da parte dell'amministrazione difesa (va da sé che non possa essere considerato l'uso duale di tale tipologia di satelliti).

#### *Satelliti per il rilevamento di esplosioni nucleari*

Lo scopo principale dello sviluppo di tali dispositivi va ricercato nel monitoraggio della conformità degli Stati, o, per lo meno, degli avversari, al divieto (parziale) di test nucleari sancito nel trattato del 1963 (*Limited Test Ban Treaty*). Così, tra il 1963 e il 1970 gli Stati Uniti hanno messo in orbita da soli una dozzina di satelliti *Vela*<sup>82</sup> per svolgere la delicata funzione, la quale viene esplicita dagli anni settanta da sistemi *early warning*

<sup>79</sup> Cfr. <<http://www.fbi.gov/about-us/intelligence/disciplines>> (09/2016).

<sup>80</sup> Maini, Agrawal, *Satellite Technology: Principles and Applications*, cit., pp. 619 ss.

<sup>81</sup> Borrini, *La Componente Spaziale nella Difesa*, cit., p. 80.

<sup>82</sup> Il rilevamento di un campo di luce tra l'Oceano Indiano e l'Atlantico Meridionale in data 22 settembre 1979 diede inizio alla controversa vicenda nota come 'incidente del Vela' o 'Flash del Sud-Atlantico', per la quale, ad oggi, non è stata ancora fatta chiarezza se si trattasse di un'esplosione nucleare o di un impatto dello stesso satellite con un micro-meteorite. L'incidente ha colpito in maniera talmente forte l'opinione pubblica statunitense da diventare la base di romanzi, tra i quali *The Last War* del 1988 di A. Ariel e *Moby and Ahab on a Plutonium Sea: The Novel Which Ended the Cold War* del 2005 di S.E. Douglas, oltre a un episodio intitolato *La guerra di Gengis Khan* (*The Warfare of Gengis Khan*) della quinta stagione della fortunata serie televisiva *The West Wing – Tutti gli uomini del Presidente*.

(*Defense Support Program*, DSP) e da sistemi a funzionamento GPS (*Integrated Operational Nuclear Detection System*, IONDS)<sup>83</sup>.

Due satelliti sperimentali, uno con funzionamento di sensori a raggi X (*Array of Low Energy X-ray Imaging Sensors*, ALEXIS) e l'altro a infrarossi (*Fast-on Orbit Recording of Transient Events*, FORTE), lanciati rispettivamente nel 1993 e nel 1997 e capaci di discriminare il falso allarme, assolvono ora il compito di monitoraggio e sorveglianza di test nucleari<sup>84</sup>.

### 3.2.3 Satelliti per le previsioni meteo

Avere delle corrette previsioni delle condizioni meteo è un fattore determinante per la buona riuscita e l'accuratezza di ogni attività operativa, dalla protezione delle forze messe sul campo al corretto funzionamento delle armi dispiegate, dalla possibilità di sfruttare al meglio un'azione all'interno del territorio nemico alla salvaguardia delle risorse.

Il Programma Satellitare Meteo per la Difesa statunitense (*Defense Meteorological Satellite Program*, DMSP)<sup>85</sup>, originariamente sotto il nome di *Defense System Application Program* (DSAP), corrispondente, in Italia, al Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare, costituisce la base per ogni genere di operazione dell'Amministrazione Difesa attraverso il suo monitoraggio costante (a IR in orbite polari eliosincrone a quote basse, che non superano di solito i 1000 km) dello sviluppo e delle condizioni meteorologiche, oceanografiche e geofisiche<sup>86</sup>.

Si comprende, quindi, come l'ampia collaborazione internazionale del gruppo di lavoro ACOMEX (*Allied Command Operations Meteorological and Oceanographic Information Exchange*) per favorire la cooperazione tra i membri dell'Alleanza Atlantica in una rete integrata nazionale e NATO, all'interno del quale l'Italia ha assunto un ruolo primario per la fornitura di informazioni integrate oceanografiche e meteorologiche, abbia lo scopo di mantenere elevato il grado di efficienza operativa sia a livello *joint* che *combined*<sup>87</sup>.

<sup>83</sup> Maini, Agrawal, *Satellite Technology: Principles and Applications*, cit., p. 624.

<sup>84</sup> Satelliti di questo tipo avrebbero rilevato un test nucleare nella base militare di Parchin in Iran i primi giorni di ottobre 2014, dai foto rilevamenti effettuati il giorno successivo alle ore 07:30 da un satellite francese della costellazione *Pleiades*, con risoluzione di 0,5 metri, sono facilmente individuabili le conseguenze dell'impatto dell'esplosione (<<http://www.israeldefense.com/?CategoryID=483&ArticleID=3159>>, 09/2016).

<sup>85</sup> <<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=1965-072A>> (09/2016).

<sup>86</sup> <<http://www.meteoam.it/?q=node/56>> (09/2016).

<sup>87</sup> <[http://www.meteoam.it/?q=acomex\\_working\\_group\\_meeting\\_2014](http://www.meteoam.it/?q=acomex_working_group_meeting_2014)> (09/2016).

L'importanza del servizio si è ampliata a tal punto da ricoprire oggi una funzione vitale in ambiti non prettamente attinenti con il contesto militare come la salvaguardia delle vite umane e dei beni in caso di calamità naturali, aspetto che ritorna sempre con la sua brutale attualità, insieme all'assistenza metereologica per la navigazione aerea, la navigazione via mare e nel campo della protezione civile attraverso l'emissione di avvisi di allerta, in caso di previsione di condizioni meteo avverse sull'intero territorio nazionale.

#### 3.2.4 Satelliti per la navigazione, la localizzazione e il soccorso

L'esigenza militare primaria di conoscere il proprio posizionamento ha trovato nell'utilizzo dei dispositivi satellitari una nuova strada maestra; mentre i sistemi sperimentali iniziali, che prevedevano l'uso dei satelliti per determinare il punto mediante triangolazioni sulla falsariga di come si fa con le stelle, hanno perso vigore a causa della difficoltà di individuazione dell'esatta posizione dovuta alla semplice constatazione che, mentre le stelle sono immobili nel cielo, i satelliti si muovono a una elevata velocità relativa<sup>88</sup>

Il sistema più rapido e accurato è stato individuato nella determinazione della distanza fra l'utente e almeno tre satelliti, ovvero il calcolo del tempo di arrivo del segnale, sempre più preciso grazie allo sviluppo dei computer e degli orologi atomici. Era sufficiente possedere una costellazione di satelliti abbastanza numerosa tale da garantire la visibilità di almeno tre dispositivi in un determinato punto e una rete TT&C capace di individuarne con precisione la posizione per caricarla nella memoria di bordo<sup>89</sup>. Ecco il GPS e il sovietico *Glonass* che, nati come sistemi militari, sono diventati parte della vita quotidiana anche degli utenti civili. Attualmente, causa complicazioni del sistema satellitare di navigazione europeo *Galileo*, comunque non ancora operativo, e il recente ripristino completo del sistema *Glonass* (ventiquattro satelliti), riveste il ruolo di maggior importanza il sistema statunitense GPS, basato sulla costellazione NAVSTAR di trentatré satelliti in orbita circolare a 20182 km di altezza, in modo tale che da qualsiasi punto sulla superficie terrestre sia possibile vedere almeno quattro satelliti simultaneamente<sup>90</sup>. Ciascun satellite NAVSTAR ha quattro orologi atomici, di cui due al cesio con una stabilità di 1 sec su 300000 anni e due al rubidio con stabilità di 1 sec

<sup>88</sup> Borrini, *La Componente Spaziale nella Difesa*, cit., p. 81.

<sup>89</sup> *Ibidem*.

<sup>90</sup> M. Capderou, *Satellites: Orbit and Missions*, Springer-Verlag, edizione Pap/Cdr, New York 2005, p. 313.

su 150000 anni<sup>91</sup>. Le trasmissioni avvengono su due frequenze tramite messaggi codificati con la posizione del dispositivo, dati degli orologi e informazioni per correzioni relative alla propagazione atmosferica. I dati elaborati dal ricevitore con il giusto algoritmo determinano la corretta posizione: tre satelliti per latitudine e longitudine e il quarto per l'altezza<sup>92</sup>. La natura militare del sistema, ancora oggi in mano al Dipartimento della Difesa, consentiva l'invio in due frequenze con codici diversi: il codice P per i soli utenti militari (dalla presidenza Clinton anche per i civili) determinava la posizione con una precisione di 22 m, la quota con 27,7 m e la velocità con 0,1 m/sec e la sincronizzazione degli orologi con 200 nsec; il codice C/A per gli utenti civili con segnale (volutamente) degradato – e tale è una delle ragioni dello sviluppo di un sistema di localizzazione europeo – con precisione di 100 m in altezza e 156 m sul piano (*Selective Availability, SA*)<sup>93</sup>.

Figura 3.2 – Raffigurazione costellazione satelliti GPS con Systems Tool Kit (STK) – Analytical Graphics Inc. (AGI).



La forza del sistema GPS consiste nella sua facilità di utilizzo. I segnali arrivano in banda L, la quale consente la ricezione anche con piccole antenne omnidirezionali (es. telefoni cellulari), e le informazioni sono racchiuse in un *frame* di 1500 bit ogni 30 secondi<sup>94</sup>. I terminali di piccole dimensioni, economici e facili da interpretare, hanno fatto sì che si allargasse l'uso del GPS non solo a utenti, come navi e aerei, con necessità di determinare la loro posizione in assenza di riferimenti, ma che

<sup>91</sup> T. Clancy, *Special Forces. A Guided Tour of US Army Special Forces*, The Berkley Publishing Book, New York 2001, pp. 260 ss.

<sup>92</sup> Borrini, *La Componente Spaziale nella Difesa*, cit., p. 82.

<sup>93</sup> Cfr. <<http://www.gps.gov/systems/gps/modernization/sa/faq/>> (09/2016).

<sup>94</sup> *Navstar GPS Space Segment/Navigation User Interfaces*, Interface Specification IS-GPS-200, Revision D IRN-200D-001, GPS Joint Program Office, El Segundo, 7 marzo 2006, p. 67.

entrasse nella quotidianità di ogni singolo individuo, mentre gli orologi atomici hanno consentito lo sviluppo pratico della sincronizzazione dei pacchetti di dati in trasmissione digitale.

La radio-localizzazione, che consiste soltanto nell'accostare un sistema GPS a una radiotrasmittente, consente di inviare la propria posizione esatta alla centrale operativa in un *frame* di dati molto contenuto trasmesso agevolmente attraverso satelliti per le telecomunicazioni<sup>95</sup>. Tale sistema di funzionamento rivela tutta la sua efficacia nelle situazioni di soccorso, soprattutto per navi e aerei, così come, ad esempio, per il trasporto o per gli antifurto satellitari. Prima dell'avvento del GPS il sistema di richiesta di soccorso consisteva unicamente nella continua trasmissione di un segnale di un radiofaro (radio *beacon*) su una specifica frequenza, intercettato da satelliti meteorologici in orbita polare bassa dotati di ricevitore, i quali determinavano la posizione dell'emittente mediante effetto *Doppler* e la memorizzavano per inviarla a una stazione in vista fornita dei dovuti strumenti di ricezione dei dati (sistema COSPAS-SARSAT)<sup>96</sup>. Se si considera che il sistema appena descritto, pur nella sua utilità, non consentiva la ricezione della richiesta di aiuto in tempo reale, oltre a non essere paragonabile per precisione al sistema GPS, non poteva trasmettere direttamente il segnale del radiofaro alla centrale operativa della risposta di soccorso, diviene facilmente comprensibile come l'aggiunta del sistema GPS abbia reso possibile l'immediato invio della posizione dell'emittente, aumentando di pari passo la tempistica del soccorso.

L'applicazione del 'GPS differenziale', ovvero l'applicazione di più dispositivi GPS, ad esempio sulla prora di un velivolo, consente di minimizzare le possibilità di errore nel calcolo della valutazione della posizione, dovute a problemi di propagazione attraverso il confronto dei segnali e dei dati ricevuti da satelliti in posizioni ravvicinate, soggetti anch'essi alle stesse problematiche. Le stazioni fisse insieme al GPS differenziale e opportunamente posizionate consentono la precisione sbalorditiva del centimetro<sup>97</sup>.

Una prima distinzione tra il sistema *Galileo* che verrà e il sistema statunitense si può ravvisare nella differente natura dei due, il primo essenzialmente civile, l'altro militare<sup>98</sup>. Il sistema Galileo è stato stu-

<sup>95</sup> Borrini, *La Componente Spaziale nella Difesa*, cit., p. 84.

<sup>96</sup> COSPAS (КОСПАС) deriva dall'acronimo del russo *Cosmicheskaya Sistyema Poiska Avariynikh Sudov* (Космическая система поиска аварийных судов), ovvero 'sistema spaziale per la ricerca di navi in difficoltà'; mentre SARSAT è l'acronimo di *Search And Rescue Satellite-Aided Tracking*, 'localizzazione satellitare per le operazioni di ricerca e salvataggio' (<<http://www.cospas-sarsat-italy.it/index.php/cospas-sarsat/il-sistema.html>>, 09/2016).

<sup>97</sup> Borrini, *La Componente Spaziale nella Difesa*, cit., p. 85.

<sup>98</sup> Sebbene il Sistema Galileo sia prettamente civile, o meglio così è stato annunciato, dubbi rimangono circa l'effettiva possibilità di aver su un dispositivo mobile al costo di un'antenna di pochi centesimi gli stessi parametri a disposizione della sicurezza per funzioni operative.

diato *ad hoc* per superare i limiti del GPS nella continuità di servizio, implementando il numero di satelliti (la disponibilità del sistema GPS è, in media, di circa il 95% del tempo e può scendere sotto il 50% in determinate zone geografiche)<sup>99</sup>, garantendo la compatibilità e l'interoperabilità dei due sistemi, che costituiranno insieme il sistema GNSS (*Global Navigation Satellite System*)<sup>100</sup>. Il secondo aspetto incrementato sarà il cosiddetto 'controllo di integrità', la funzionalità che non permetterà che eventuali problematiche rischino di degradare l'informazione (attualmente con errori di circa 20 m) di una corretta posizione, che assume una notevole importanza quando si tratta di valutare, ad esempio, se un treno merci è posizionato sul corretto binario o su quello parallelo<sup>101</sup>. Il programma *Galileo* comprenderà a regime completo previsto per il 2019 trenta satelliti (ventisette operativi e tre di riserva) orbitanti su tre piani inclinati sull'equatore MEO (*Medium Earth Orbit*) a una quota di 23322 km<sup>102</sup>.

Il primo supporto europeo alla rete GNSS può essere considerato il sistema EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay Service*)<sup>103</sup>, capace di aumentare l'accuratezza e l'integrità dei dati (un primo passo di controllo di integrità), garantendo il segnale in particolari zone non ben coperte e rilevanti per la navigazione aerea e marittima.

EGNOS raggruppa quaranta stazioni di terra (*Ground Segment*), di cui trentaquattro stazioni RIMS (*Ranging Integrity Monitoring Stations*) che ricevono il segnale dai satelliti GPS, quattro MCC (*Master Control Center*) per il processo dei dati e il controllo dei differenziali (*Central Processing Facility; Central Control Facility*), sei NLES (*Navigation Land Earth Stations*) che inviano i dati di accuratezza e affidabilità ai satelliti geostazionari (*Space Segment*) di comunicazione (INMARSAT 3-F2 Atlantic Ocean Region-East; Artemis; INMARSAT 4-F2 Europe Middle East Africa; IN-

<sup>99</sup> Cfr. <<http://www.gps.gov/systems/gps/performance/accuracy/>> (09/2016).

<sup>100</sup> Cfr. <<http://egnos-portal.gsa.europa.eu/discover-egnos/about-egnos/what-gnss>> (09/2016).

<sup>101</sup> Cfr. <[http://www.esa.int/Our\\_Activities/Navigation/The\\_future\\_-\\_Galileo/What\\_is\\_Galileo](http://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/The_future_-_Galileo/What_is_Galileo)> (09/2016).

<sup>102</sup> Cfr. indirizzo della Commissione Europea (<[http://ec.europa.eu/enterprise/policies/satnav/galileo/satellite-launches/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/enterprise/policies/satnav/galileo/satellite-launches/index_en.htm)>) e dell'ASI (<[http://www.asi.it/it/flash/navigazione/lasi\\_e\\_il\\_programma\\_galileo](http://www.asi.it/it/flash/navigazione/lasi_e_il_programma_galileo)>) (09/2016).

<sup>103</sup> <<http://egnos-portal.gsa.europa.eu/discover-egnos/about-egnos>> (09/2016). La data annunciata inizialmente era, tuttavia, il 2016. Il fallimento di tale obiettivo dimostra, da un lato, le difficoltà a mettere in atto tali sistemi, per cui una nota di demerito va all'azienda, fortemente voluta da Berlino come completamente 'made in Germany', della OHB AG, e, dall'altro, la delicatezza politica di aver a che fare con un ambiente dove l'attrito ne fa da padrone, anche se l'errore macroscopico va in tutt'altra direzione (<<https://www.ohb-system.de/press-releases-details/status-galileo-foc-satellites.html>>, 09/2016).

MARSAT 3-F1 *Indian Ocean*; *Astra 4B*; *Astra 5B*) che li ritrasmettono, infine, agli utenti finali con un errore di 1,5 m<sup>104</sup>.

Parallelamente a EGNOS, sistemi simili sono stati sviluppati in Nord America con il WAAS (*Wide Area Augmentation Service*) e in Asia, soprattutto in Giappone, con il MSAS (*Multi-functional Satellite Augmentation System*)<sup>105</sup>. Molti Stati anche non europei come Israele<sup>106</sup> sono entrati a far parte del progetto Galileo, la Russia sta prospettando un'utile integrazione con il sistema GLONASS, mentre la Cina sta continuando lo sviluppo del proprio sistema di localizzazione Beidou, dal 2020 operativo a livello globale, dopo esser entrata a far parte anch'essa nel 2003 del programma Galileo<sup>107</sup>. L'interoperabilità e la compatibilità tra GPS e Galileo non deve oscurare la ricerca di indipendenza europea, ma deve spostare l'oggetto di analisi, quello del settore spaziale della difesa, sotto un'altra lente, quella relativa all'importanza vitale che esso riveste per tutti i settori, a partire dal singolo individuo passando dalle transazioni finanziarie fino al comparto delle operazioni delle Forze Armate.

Ecco come l'evoluzione dei sistemi di navigazione, da essenza prettamente militare trasformati e dotati di un'anima civile, incarna la naturale conseguenza dell'evoluzione del settore in generale, che difficilmente proporrà in futuro un proprio sistema di posizionamento personale e indipendente.

### 3.3 Innovazione della comunicazione laser e a fibra ottica

La trasmissione dati attraverso laser o strumenti ottici rappresenta un'innovazione nel campo spaziale e aereo-spaziale, le cui ricadute potrebbero rivestire un ruolo importante nel campo della trasmissione dei dati sensibili<sup>108</sup>.

<sup>104</sup> <[http://www.esa.int/Our\\_Activities/Navigation/The\\_present\\_-\\_EGNOS/What\\_is\\_EGNOS](http://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/The_present_-_EGNOS/What_is_EGNOS)> (09/2016).

<sup>105</sup> Cfr. <[http://www.environmental-studies.de/Precision\\_Farming/EGNOS\\_WAAS\\_\\_E/3E.html](http://www.environmental-studies.de/Precision_Farming/EGNOS_WAAS__E/3E.html)> (09/2016).

<sup>106</sup> Comunicato stampa del 18 maggio 2005, <<http://web.archive.org/web/20070709225405/http://www.eu-del.org.il/hebrew/6180%20press%20release%20Israel%2018052005.pdf>> (09/2016).

<sup>107</sup> *China joins EU's satellite network*, «BBC News», 19 settembre 2003, <<http://news.bbc.co.uk/2/hi/business/3121682.stm>> (09/2016).

<sup>108</sup> Per ulteriori informazioni maggiormente tecniche sulla comunicazione laser si consiglia: M. Olorunfunmi Kolawole, *Satellite Communication Engineering*, CRC Press, Boca Raton 2013 (II ed.); A.K. Majumdar, J.C. Ricklin, *Free-Space Laser Communications: Principles and Advances*, Springer, New York 2007.

Il progetto della NASA OPALS (*Optical Payload for Lasercomm Science*)<sup>109</sup>, a bordo della Stazione Spaziale Internazionale, e l'invio del primo video ad alta definizione («Ciao Mondo!») di 175 megabit dallo spazio alla stazione di terra sembrano essere l'inizio di sistemi di comunicazione con maggiori larghezza di banda e con velocità di trasmissione fino a cento volte superiori rispetto ai sistemi tradizionali<sup>110</sup>. L'Agenzia Spaziale Europea (ESA) sta tentando di rendere lo spazio lo strumento essenziale di trasmissione di grandi quantità di dati attraverso lo sviluppo della EDRS (*European Data Relay System*), la cui architettura consiste in due satelliti geostazionari in grado di ricevere i dati da satelliti in orbita bassa terrestre (LEO) e veicoli aerei per comunicarli alle stazioni di Terra<sup>111</sup>. Il satellite Sentinel 1 A ha, ad esempio, capacità di trasmissione laser di 1,8 Gigabit/s, mentre sviluppi futuri prevedono di arrivare fino a 7,2 Gigabit/s<sup>112</sup>. La visione, seppure in fase di progettazione (i lanci dell'ultimo satellite geostazionario è previsto per il 2020<sup>113</sup>), unita all'estrema accuratezza del sistema Galileo potrebbe dare una spinta per una strategia europea in ottica di sicurezza e difesa.

La struttura EDRS non è ancora, tuttavia, paragonabile a simili architetture complesse come il sistema SBIRS (*Space Based Infrared System*) statunitense che si propongono di ottenere una *awareness*, per usare un termine caro alla strategia contemporanea, nella previsione della minaccia, nelle delicate operazioni di *intelligence* e nella gestione del campo di battaglia<sup>114</sup>.

Le difficoltà fisiche legate alla difficile trasmissione ottica nell'atmosfera richiedono, poi, una posizione particolare della stazione di terra, che dovrà essere ben al di sopra del livello del mare e avere delle condizioni climatiche molto favorevoli, tra cui la quasi totale assenza di nuvole, mentre rimane strategicamente e quantitativamente rilevante la trasmissione tra satelliti, così da diminuire i tempi dell'invio alla stazione di terra e all'utente finale (QoS, *Quality of Service*). A titolo di esempio, basterà rammentare che l'ESA ha scelto come luogo adatto alla stazione ricevente l'isola di Tenerife a 2400 metri sopra il livello del mare<sup>115</sup>

<sup>109</sup> <<http://phaeton.jpl.nasa.gov/external/projects/optical.cfm>> (09/2016).

<sup>110</sup> <<http://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?release=2014-111>> (09/2016).

<sup>111</sup> <[http://www.esa.int/Our\\_Activities/Telecommunications\\_Integrated\\_Applications/EDRS](http://www.esa.int/Our_Activities/Telecommunications_Integrated_Applications/EDRS)> (09/2016).

<sup>112</sup> <[http://www.esa.int/Our\\_Activities/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Sentinel-1/Laser\\_link\\_offers\\_high-speed\\_delivery](http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-1/Laser_link_offers_high-speed_delivery)> (09/2016).

<sup>113</sup> <[http://esamultimedia.esa.int/docs/ECSAT/EDRS\\_factsheet\\_EN.pdf](http://esamultimedia.esa.int/docs/ECSAT/EDRS_factsheet_EN.pdf)> (09/2016).

<sup>114</sup> <[http://www.dod.mil/pubs/foi/logistics\\_material\\_readiness/acq\\_bud\\_fin/SARs/2012-sars/13-F-0884\\_SARs\\_as\\_of\\_Dec\\_2012/Air\\_Force/SBIRS\\_High-December\\_2012\\_SAR.pdf](http://www.dod.mil/pubs/foi/logistics_material_readiness/acq_bud_fin/SARs/2012-sars/13-F-0884_SARs_as_of_Dec_2012/Air_Force/SBIRS_High-December_2012_SAR.pdf)> (09/2016).

<sup>115</sup> <<http://www.iac.es/eno.php?op1=3&op2=6&lang=en&id=7>> (09/2016).

Il cambiamento appare necessario alla luce della rilevanza dei cosiddetti *Big Data*, ovvero la raccolta di dati ‘complessi’ caratterizzata da volume (*dataset*), velocità quasi in tempo reale e ampia varietà<sup>116</sup>. Il vantaggio strategico informativo (*information warfare*)<sup>117</sup> diviene l’elemento essenziale legato da un doppio filo e allo spazio, che si trasforma in un vero e proprio ambiente operativo (cap. 4), e al campo di battaglia degli altri ambienti nella loro futura digitalizzazione (cap. 5).

<sup>116</sup> <<http://www.villanovau.com/resources/bi/what-is-big-data/>> (09/2016).

<sup>117</sup> Cfr. C. Young, *Military Intelligence Redefined: Big Data in the Battlefield*, «Forbes», 12 marzo 2012, <http://www.forbes.com/sites/teconomy/2012/03/12/military-intelligence-redefined-big-data-in-the-battlefield/> (09/2016).



## CAPITOLO 4

### USO DELLA FORZA NELLO SPAZIO TRA VERITÀ EFFETTUALE E IMMAGINAZIONE DI ESSA

«Onestamente, a me sembrava uno sbattiuova automatico montato su ruote triangolari». E cosa si può distruggere, medito, con una roba simile?

[P.K. Dick, *The Zap Gun*, 1964]

Nella terminologia di genere in inglese vi è una sostanziale differenza tra le parole *militarization* e *weaponization*: la prima è da intendersi nel più ampio senso di uso strategico-militare dello spazio e riguarda, ad esempio, anche l'installazione di satelliti militari; la seconda, invece, concerne strettamente il dispiegamento di armamenti, di assetti, cioè, che hanno capacità di offesa, nello spazio, dispositivi satellitari compresi se dotati di tale capacità. Gli Stati, per ora, non si sono spinti sino alla collocazione di armi in orbita, e non solo per una questione tecnologica, mentre, paradossalmente, si sono spinti verso capacità di abbattimento o parziale danno di assetti spaziali, appendice mai satura del confronto terrestre.

La dicotomia del Machiavelli ripresa nel titolo del capitolo avverte, seppur impropriamente, chiunque si trovi ad affrontare elementi complicati per natura, nella veste di rappresentazioni del conflitto e dell'essenza della guerra e della politica, che come in un dominio così dettato dal caso e dalla componente fisica (vd. cap. 2) spesso l'immaginazione è stata la chiave di tante scoperte, il settore degli Studi Strategici non può esimersi né dalla natura del progresso propria dell'uomo né dalla constatazione della realtà.

Uno sforzo in tal senso è stato ricercato nel presente capitolo, dove, a discapito delle pur interessanti altre forme di possibile uso della forza nell'ambiente spaziale (mine nello spazio, comando remoto di meteoriti, *pellet* ASAT, missili balistici<sup>1</sup>) è stato dato risalto all'orientamento tec-

<sup>1</sup> Per approfondimenti su tali sistemi di arma si consiglia: B. Bodie, *Strategy in the Missile Age*, Princeton University Press, Princeton 1959; R. Preston, D.J. Johnson, S.J.A. Edwards, M.D. Miller, C. Shipbaugh, *Space Weapons, Earth Wars*, RAND Corporation, Santa Monica 2002; C.K.S. Chun, *Shooting Down a "Star" Program 437, the US Nuclear ASAT System and Present-Day Copycat Killers*, Cadre paper n. 6, Air University Press, Maxwell Air Force Base, aprile 2000; M. Krepon, J. Thompson, *Anti-satellite Weapons, Deterrence and Sino-American Space Relations*, Stimson, Washington DC, settembre 2013; B.W. MacDonald, *China, Space Weapons, and U.S. Security*, Council on Foreign Relations Special Report n. 38, settembre 2008; B. Chapman, *Space Warfare and Defense. A Historical Encyclopedia and Research Guide*, ABC Clío, Santa Barbara 2008.

nologico e industriale del settore, nuova forma di conflitto degli attori nello scenario internazionale.

#### 4.1 *Armi spaziali e caratteristiche dell'uso della forza nello spazio*

A fini esplicativi, pare necessario, giunti a tal punto, indagare su quali siano i limiti di utilizzo, le caratteristiche e su come possono essere suddivisi gli armamenti spaziali. Alcuni, ad esempio, li distinguono, in relazione alla loro collocazione e al posizionamento del loro obiettivo (sulla superficie terrestre o nello spazio), in armamenti collocati e stazionanti in orbita o, in generale, nello spazio al fine di attaccare qualsiasi oggetto sulla superficie terrestre, nello spazio atmosferico e nell'ambiente marittimo; armamenti collocati e stazionanti in orbita o, in generale, nello spazio al fine di attaccare qualsiasi oggetto ivi posizionato; armamenti con base sulla superficie terrestre, sul mare o nello spazio atmosferico capaci di attaccare qualsiasi oggetto nello spazio<sup>2</sup>.

Talaltri suddividono, in un'ottica di divisione geografico-operativa gli armamenti collocati in orbita per colpire assetti spaziali dagli armamenti che interessano lo spazio extra-atmosferico senza entrare in orbita, ma che concorrono allo svolgimento delle medesime operazioni di difesa o di offesa e da quelli terrestri destinati a neutralizzare il segmento terrestre dei sistemi spaziali (es. basi di lancio e centri operativi)<sup>3</sup>.

Altri ancora distinguono, su basi maggiormente (sin troppo) tecniche, i sistemi d'arma la cui energia distruttiva è diretta verso l'obiettivo senza trasporto di nessuna massa significativa da quelli che invece devono trasportare un quantitativo rilevante di carattere distruttivo, operando, all'interno di questi, un'ulteriore distinzione tra armamenti a energia cinetica e armamenti a energia diretta<sup>4</sup>.

Oltre alle diversità convenzionali di definizione, avallate dalla mancanza di un consenso univoco a riguardo, ogni armamento spaziale può essere analizzato nelle sue dimensioni relative al posizionamento, al target potenziale, al meccanismo di attacco, agli effetti dell'arma, agli effetti indiscriminati e alla potenzialità distruttiva negli scenari di difesa o offesa.

L'uso della forza nello spazio si traduce nell'eventualità, critica per la difesa del proprio interesse nazionale, di attaccare obiettivi sulla superficie terrestre o nello spazio stesso, a maggior ragione se si considera la

<sup>2</sup> D.M. Kerr, *Space Weapons Verification*, in B. Jasani (a cura di), *Space Weapons and International Security*, Oxford University Press, Oxford 1987, Paper 12, pp. 209-228.

<sup>3</sup> Cfr. A. Trabalesi, N. Cardinali, *Sviluppo tecnologico ed evoluzione della dottrina d'impiego del potere aerospaziale*, CeMiSS, Roma 2004, pp. 56-58.

<sup>4</sup> R. Preston, D.J. Johnson, S.J.A. Edwards, M.D. Miller, C. Shipbaugh, *Space Weapons, Earth Wars*, RAND Corporation, Santa Monica 2002, pp. 23-24.

capacità di attacco ai centri di gravità del nemico, ovunque siano essi sparsi nel mondo, minimizzandone rischi e costi. Va preliminarmente notato che l'intenzione di sviluppare armamenti nello spazio sarà l'apice di considerazioni circa l'assoluta necessità di tale ipotesi e l'importanza vitale di tale ambiente operativo. Appare, allo stesso modo, rilevante annotare i limiti di un uso degli armamenti spaziali<sup>5</sup>. Primo fra tutti, la difesa statica. Dal momento che il raggiungimento di un'orbita richiede uno sforzo così grande che, generalmente, si ritiene poco vantaggioso cambiarla, in maniera simile alle fortificazioni terrestri, la difesa degli armamenti spaziali è statica e facilmente annullabile da un nemico in grado di concentrare un attacco su di essa. Essa riveste, così, un ruolo rilevante solo come deterrente nei confronti di una minaccia di media portata. Un altro limite è costituito dalla collocazione su orbite stabili in quanto facilmente osservabili e prevedibili: nonostante la distanza garantisca l'opportunità di restare quasi inosservati dalla superficie terrestre, difficilmente potrà essere impedito a chi ne possieda le capacità di osservare, monitorare e sorvegliare a sua volta tali armamenti. Le possibilità di difesa diminuiscono, poi, nei punti osservabili dell'orbita, essendo quest'ultima prevedibile e non soggetta a disturbi materiali particolari. Un altro limite risiede nei costi logistici. Non solo la tecnologia porta in dote, va da sé, ingenti spese, ma dispiegare un oggetto nello spazio dalla fase di lancio al posizionamento nell'orbita comporta notevoli costi: ad esempio, un armamento di teatro richiede un dispendio di carburante di circa cinquanta volte il peso dell'arma, un quarto in meno, invece, trasportarlo nello spazio atmosferico<sup>6</sup>. Risulta così più agevole per uno Stato che abbia sviluppato le forze armate 'convenzionali' utilizzare queste in tali casi. Vanno considerati costi di energia sensibilmente superiori nel caso di un sistema spaziale laser rispetto a armamenti a energia cinetica. Anche la necessità di una costellazione di satelliti, *conditio sine qua non* per garantire una copertura adeguata dell'area di interesse, è di per sé un limite. Non vanno sottovalute, infatti, possibili conseguenze legali legate alla loro collocazione che potrebbe da sola richiedere la modifica di accordi sul controllo degli armamenti, come avvenuto per l'*ABM Treaty*. Inoltre, secondo l'*Outer Space Treaty* lo spazio è *res communis*, per cui l'attore che impiega tali mezzi di offesa potrebbe ricadere in conseguenze politiche, ma non giuridiche, per rispondere del pericolo causato in una regione dello spazio dall'aumento di detriti.

Dopo una parentesi sui dispositivi satellitare di utilizzo militare (cap. 3), considerata la loro vitale funzione per le attività operative e nella eventualità che essi stessi possano essere dotati di strumenti di attacco o

<sup>5</sup> Ivi, pp. 103-106.

<sup>6</sup> Ivi, p. 136.

diventare, più spesso, obiettivi degli avversari, la distinzione di seguito si baserà su un aspetto peculiare dell'offesa nello spazio. Mentre da un lato verranno considerati attacchi solo ed esclusivamente rivolti agli assetti spaziali, dall'altro verrà presa in esame una particolare tipologia di attacco, ovvero quella che meno risalta agli occhi dell'opinione pubblica e verso cui si stanno indirizzando gli sviluppi tecnologici degli Stati, lo sviluppo, cioè, di armamenti di tipo laser e il sistema d'arma attraverso il campo elettromagnetico.

#### 4.2 Attacchi 'invisibili' contro un assetto spaziale

Attaccare un satellite o semplicemente interferire con la sua attività può causare gravi danni agli operatori come agli utenti finali. Nonostante i satelliti di tipo militare siano obiettivi maggiori di tali attacchi, talvolta i dispositivi di tipo civile rivestono ruoli determinanti per espletare funzioni di notevole interesse strategico o prettamente operativo, diventando anch'essi bersaglio privilegiato di offesa<sup>7</sup>. Rendere inutilizzabile un satellite può causare notevoli danni di impatto economico, a parte il costo del satellite stesso, e politico: si pensi, ad esempio, alle conseguenze che potrebbe avere rendere inutilizzabile un satellite che svolga una funzione determinante per le transazioni finanziarie, oppure un satellite di riconoscimento qualora ci si dovesse preparare ad un attacco.

Quando si pensa a un dispositivo anti-satellite (ASAT) non bisogna lasciarsi andare alla facile e immediata visione di un missile che colpisce un dispositivo satellitare, o almeno non solo. Tale tipologia di dispositivi può assumere svariate forme e avere fini che vanno dall'interferenza minima (*denial*) ai danni irreparabili fino all'abbattimento (*destruction*), colpendo vuoi la stazione di terra, il satellite stesso o il collegamento tra i due e con base nello spazio o sulla superficie terrestre. Non è difficile per un attore che abbia minime capacità aereo-spaziali essere in possesso e utilizzare l'adeguata tecnologia per mettere in atto tali operazioni,

<sup>7</sup> Si calcola, ad esempio, che circa il 60% delle comunicazioni militari durante le operazioni in Afghanistan del 2001 (*Enduring Freedom*) siano passate da satelliti civili (vd. Futron Corporation, *U.S. Government Market Opportunity for Commercial Satellite Operators: For Today or Here to Stay?*, aprile 2003, <[http://www.futron.com/upload/wysiwyg/Resources/Whitepapers/US\\_Government\\_Market\\_Opportunity\\_0403.pdf](http://www.futron.com/upload/wysiwyg/Resources/Whitepapers/US_Government_Market_Opportunity_0403.pdf)>, 09/2016). La preoccupazione del governo statunitense di allora circa la facile accessibilità a immagini satellitari, provenienti da dispositivi civili (come il satellite Ikonos), portò lo stesso a minacciare l'uso del cosiddetto *shutter control*, una procedura per casi di attentato alla sicurezza nazionale che prevede diritti esclusivi per l'esecutivo. Satelliti sponsorizzati da Iran e Cina, poi, furono target di *jamming* da parte di oppositori politici (<[http://www.atimes.com/atimes/Middle\\_East/EH22Ak03.html](http://www.atimes.com/atimes/Middle_East/EH22Ak03.html)>; <[http://english.peopledaily.com.cn/200403/04/eng20040304\\_136475.shtml](http://english.peopledaily.com.cn/200403/04/eng20040304_136475.shtml)>, 09/2016).

anche solamente per colpire satelliti in orbita bassa terrestre o persino in orbita geostazionaria.

La riuscita dell'attacco dipende, *in primis*, dalla modalità di offesa, alcune più facili da prevenire di altre. La stessa differenza tra *denial* momentaneo e distruzione completa è soggetta alle situazioni particolari in cui viene messa in atto l'operazione: così, un'attività di *dazzling* ('accecamento') compiuta con un laser o con la potenza delle microonde per mettere fuori uso le apparecchiature elettroniche potrebbe diventare totalmente distruttiva a intensità di potenza elevate<sup>8</sup>.

La pratica di impedire momentaneamente l'uso di un singolo dispositivo satellitare non compromette la funzione dell'intera costellazione di cui fa parte, ma impedisce la comunicazione con quel determinato dispositivo in quel determinato momento<sup>9</sup>. Altre misure 'passive', come il *camouflaging*, possono impedire che il dispositivo acquisisca informazioni corrette circa quel determinato assetto, mentre dotare i satelliti di sistemi d'arma in grado di colpire assetti terrestri o spaziali (es. altri satelliti) può garantire un certo grado di protezione<sup>10</sup>.

#### 4.2.1 Attacchi elettronici: jamming e spoofing

Per guerra elettronica va intesa un'azione militare il cui obiettivo risiede nel tentativo di controllo dello spettro elettromagnetico (*electromagnetic spectrum*, EMS)<sup>11</sup>. Tale obiettivo viene raggiunto attraverso attacchi elettronici (*electronic attack*, EA), difesa elettronica (*electronic protection*, EP), attività di *intelligence* e azioni supporto al riconoscimento della minaccia di guerra elettronica (*electronic warfare support*, ES), alle quali corrispondono, rispettivamente, contromisure elettroniche (*electronic countermeasures*, ECM), contromisure alle contromisure elettroniche (*electronic counter-countermeasures*, ECCM) e misure di supporto di guerra elettronica (*electronic warfare support measures*, ESM)<sup>12</sup>.

Tra le funzioni di attacco elettronico è da considerarsi anche l'uso di armi a energia diretta (*Direct Energy Weapons*, DEWs), missili antiradar o antiradiazioni (*Anti Radiation Missile*, ARM) progettati per rilevare e dirigersi verso le emissioni radar, impulsi elettromagnetici e nuclea-

<sup>8</sup> D. Wright, L. Grego, L. Gronlund, *The Physics of Space Security*, American Academy of Arts and Science, Cambridge 2005, pp. 118-119.

<sup>9</sup> *Ibidem*.

<sup>10</sup> Cfr. B.M. De Blois *et al.*, *Space Weapon: Crossing the US Rubicon*, «International Security», XXIX, 2004, pp. 1-34.

<sup>11</sup> Cfr. S. Mohinder, *Electronic Warfare*, Defence Scientific Information & Documentation Centre (DESIDOC), Ministry of Defence, Metcalfe House, Delhi 1988, p. 1.

<sup>12</sup> Ivi, pp. 11 ss.

ri (EMP – NEMP), mentre, tra le funzioni EP, l'uso del controllo delle emissioni elettromagnetiche (EMCON), tecniche di *hardening* elettromagnetico, ovvero la minimizzazione delle vulnerabilità, la rimozione dei conflitti di frequenza di EW e la messa in sicurezza delle comunicazioni (COMSEC); in ambito ES, all'interno del supporto ESM, vanno annoverati il riconoscimento immediato, il rilevamento, la localizzazione, l'identificazione e l'interpretazione della minaccia e operazioni conseguenti di EP<sup>13</sup>.

Nella conferma della paternità del fine politico sugli obiettivi militari pare necessario, anche per chiarezza di definizione, sottolineare che la guerra elettronica è soltanto una delle azioni militari atte a garantire la determinante superiorità nell'ambito delle attività di Comando e Controllo (C2), sia attraverso interruzioni delle connessioni e comunicazioni avversarie, sia attraverso la protezione delle proprie. In particolare la cosiddetta *C2 warfare*, guerra per la superiorità delle funzioni di comando e controllo, consiste nelle seguenti operazioni di carattere militare sia in fase di protezione, sia di difesa che di attacco: operazioni di sicurezza (OPSEC), EW (electronic warfare), operazioni di carattere psicologico (PSYOPS), operazioni di inganno militare, distruzione fisica<sup>14</sup>.

In uno scenario operativo dell'ambiente spaziale le misure di guerra elettronica hanno assunto una maggiore rilevanza per la lotta nell'ambito e delle superiorità delle comunicazioni militari (*Communications Intelligence*, COMINT) e del corretto espletamento delle funzioni di comando, pianificazione e direzione centralizzata con esecuzione decentralizzata con l'ampio impiego dei minisatelliti di uso tattico (TacSat)<sup>15</sup>.

Un'attività di *jamming* ('inceppamento') implica un'interruzione delle comunicazioni con il satellite dovute a un sovraccarico di segnale, nella fase di *uplink* o di *downlink*, da parte di un'antenna che 'inceppa' il sistema, comunicando anch'essa sulla stessa frequenza con una potenza maggiore. Un segnale di *jamming* può essere semplicemente un disturbo che impedisce, coprendolo, l'arrivo del segnale reale al ricevitore<sup>16</sup>.

Con un'attività di *spoofing* si simulano le caratteristiche del segnale in modo che venga ricevuto piuttosto che quest'ultimo il segnale 'finto', un

<sup>13</sup> A. De Martino, *Introduction to Modern EW Systems*, Artech House, Boston 2012, p. 1.

<sup>14</sup> D. Ventre, *Information Warfare*, Wiley-ISTE Ltd., Hoboken 2009, p. 30.

<sup>15</sup> Cfr. R. Cochetti, *The Mobile Satellite Communications Handbook*, Wiley-Blackwell, Hoboken, novembre 2014 (II ed.), pp. 56 ss. Per un'idea sulla rilevanza di tale tipologia di satellite in scenari operativi e di come le industrie che operano nel settore difesa si stiano orientando, si consiglia: <<http://www.selex-es.com/~tacsat-razor-antenna>> (09/2016).

<sup>16</sup> Sulle attività di *jamming* nei sistemi di comunicazione si consiglia R.A. Poisel, *Modern Communications Jamming Principles and Techniques*, Artech House, Londra 2011 (II ed.).

segnale camaleonte a voler usare un paragone efficace<sup>17</sup>. Per raggiungere il suo scopo l'antenna *jammer* o *spoofers* deve stazionare all'interno della zona di trasmissione del ricevitore, dove il segnale di trasmissione può essere inviato in modo che venga recepito dal ricevitore, nonché avere la capacità di indirizzare il suo segnale al ricevitore<sup>18</sup>.

#### *Jamming e spoofing nella fase di downlink*

Con operazioni di *jamming* nel *downlink* nella fase di offesa si impedisce alla stazione di terra (o a un ricevitore qui posizionato come ogni genere di antenna, dalla comune radio al GPS) di ricevere un segnale utilizzabile dal satellite. Nel caso di *spoofing*, invece, il ricevitore riceve un falso segnale.

Alcuni ricevitori, con limiti nella sicurezza ma vantaggi in costi e semplicità del mezzo, hanno la possibilità di ricevere segnali da ogni satellite evitando il necessario tracciamento satellitare e il conseguente orientamento del ricevitore. Tanta maggiore difficoltà del lavoro di *intelligence* quanta facilità nella fase finale delle operazioni richiede posizionare un *jammer* nella zona di trasmissione<sup>19</sup>. L'ampiezza dell'area di operazione dello *jammer* o dello *spoofers* dipende, da un lato, dalla potenza e dello strumento di guerra elettronica e del segnale satellitare, dall'altro, dalla prossimità del ricevitore (e in questo chi attacca è estremamente avvantaggiato, cosa che consente anche una non troppa accuratezza nel considerare la posizione del target)<sup>20</sup>.

La non difficoltà, dovuta anche agli scarsi costi, di un'attività di *jamming* (maggiori complicazioni tecniche vanno dedicate allo *spoofing*) permette, ad esempio, di attaccare un segnale GPS anche a 150-200 km di distanza, con libretto di istruzioni facilmente reperibile sulla rete internet<sup>21</sup>. Le odierne costose tecnologie per contrastare tali operazioni (*anti-jamming*) ostacolano la corretta riuscita dell'offesa attraverso un incremento

<sup>17</sup> Per compiere con successo un'attività di *spoofing* è necessario che i due segnali abbiano la stessa potenza, se la prima eccedesse la seconda, si parlerebbe di *jamming*, mentre se fosse inferiore, il ricevitore la ignorerebbe. Cfr. T.A. Spencer, R.A. Walker, *A Case Study of GPS Susceptibility to Multipath and Spoofing Interference*, in D. Mee (a cura di), *Proceedings of the 10th Australian Int'l Aerospace Congress*, 29 luglio-1 agosto 2003, Brisbane, Queensland.

<sup>18</sup> Cfr. Wright, Grego, Gronlund, *The Physics of Space Security*, cit., p. 118.

<sup>19</sup> Sul rapporto tra *intelligence* e *electronic warfare* alcune considerazioni, tra cui quella qui segnata, sono il frutto di un incontro avvenuto in data 22 ottobre 2014 con un rappresentante dell'Elektronica S.p.A, ing. Sergio Attilio Jesi.

<sup>20</sup> Wright, Grego, Gronlund, *The Physics of Space Security*, cit., p. 119.

<sup>21</sup> L'articolo qui riportato descrive, ad esempio, un'attività di *jamming* di una squadra dell'Aeronautica verso satelliti militari a alta frequenza con 7.500 dollari di costo di materiali e una semplice connessione a internet. P. Marks, *Wanna Jam It?*, «NewScientist», 22 aprile 2000, <<http://www.newscientist.com/article/mg16622351.400-wanna-jam-it.html>> (09/2016).

della potenza del segnale di trasmissione satellitare o criptando il segnale *downlink* in modo da rendere agevole discriminare l'interferenza. Così, il ricevitore di terra può essere adattato per ricevere il segnale solo dalla direzione del trasmettitore con cui è stato designato per comunicare e respingere i segnali provenienti da altre direzioni, aumentando il peso e il costo del ricevitore<sup>22</sup>.

Un'altra modalità anti-*jamming* consiste nel concentrare la potenza del segnale satellitare in una ridotta banda di frequenza, mettendo il ricevitore in condizione di filtrare tutte le altre frequenze<sup>23</sup>. Se il *jammer* non fosse a conoscenza della frequenza utilizzata dal sistema, dovrebbe forzatamente espandere la propria potenza su una vasta gamma di frequenze per assicurarsi copertura e riuscita dell'intervento (*broadband jamming*)<sup>24</sup>. Una versione più sofisticata di contromisura risiede nel saltare da una banda di frequenza a un'altra, rendendo note al ricevitore tali manovre, in modo da rendere difficile il rapido riconoscimento della banda di frequenza usata, ma riducendo anche il numero di informazioni trasmesse e ricevute<sup>25</sup>.

Un *downlink jammer* può essere posizionato anche in orbita bassa terrestre, aumentando la propria vicinanza all'obiettivo fino a un centinaio di volte rispetto al ricevitore nel caso di orbite geosincrone e interferendo con le trasmissioni da dispositivi satellitari in orbite più elevate. Tuttavia, la velocità maggiore di rotazione intorno alla Terra rende possibile tale attività di *jamming* solo qualora il numero di questi fosse notevolmente maggiore rispetto al target potenziale<sup>26</sup>. Durante attività militari, nella situazione di conflitto come negli scenari attuali in Ucraina<sup>27</sup> o in Siria<sup>28</sup>, la collocazione di uno *jammer* direttamente sul campo di battaglia ne favorisce l'azione diretta, ma attraverso un'accurata attività di *intelligence* solo per gli Stati che possiedono adeguate tecnologie sono facilmente identificabili.

Le contromisure a attività di *spoofing* che prevedono la criptazione del segnale nella fase di invio e nella fase di ricezione, diminuendo la quan-

<sup>22</sup> Cfr. Wright, Grego, Gronlund, *The Physics of Space Security*, cit., p. 119. Non sorprende, poi, che nelle operazioni compiute in Iraq nel 2003 i militari statunitensi fossero dotati di ricevitori GPS ad uso commerciale per questioni pratiche di facilità di movimento, consumo minore di batteria e minor probabilità di attacco, non essendo segnati come militari (<[http://archive.wired.com/wired/archive/11.06/battlefield\\_pr.html](http://archive.wired.com/wired/archive/11.06/battlefield_pr.html)>, 09/2016).

<sup>23</sup> *Ibidem*.

<sup>24</sup> *Ibidem*.

<sup>25</sup> *Ibidem*.

<sup>26</sup> Ivi, p. 120.

<sup>27</sup> Cfr. <<https://burkonews.info/anti-terrorist-operation-ukraine-summary-august-19-2014/>> (09/2016).

<sup>28</sup> Cfr. <<http://www.foxnews.com/world/2014/09/14/digital-jihad-isis-al-qaeda-seek-cyber-caliphate-to-launch-attacks-on-us/>> (09/2016).

tà di data trasmissibili, sono difficilmente attuate dagli operatori, in special modo dagli operatori commerciali, a meno che lo scenario non cambi repentinamente, come in situazioni di crisi militare improvvisa<sup>29</sup>.

### *Jamming e spoofing nella fase di uplink*

Anche il ricevitore posizionato sul dispositivo satellitare può essere oggetto di *jamming* nella fase di *uplink* di ricezione. Uno *jammer* sufficientemente potente può superare l'ostacolo della protezione del segnale<sup>30</sup>. La situazione si complica nel caso di satelliti per le comunicazioni, i quali ricevono i segnali dalla superficie terrestre per ritrasmetterli (*bent pipes*, 'tubi piegati'): mentre i dispositivi militari sono dotati di misure di codificazione, difficilmente tali misure sono a disposizione anche per satelliti di tipo civile o commerciale<sup>31</sup>. Persino un satellite collocato in orbita geosincrona può subire attività di *jamming* da una stazione di terra, dal momento che entrambi i segnali devono percorrere la stessa distanza per raggiungere il ricevitore con relativa perdita di potenza<sup>32</sup>.

I satelliti civili o commerciali sono particolarmente vulnerabili a tali attività nella fase di *uplink* a causa della loro capacità di ricezione di segnali provenienti da un'ampia zona di trasmissione, e di attacco, che può arrivare a coprire con le dovute proporzioni diversi Stati, a differenza della fase di *downlink* che necessita della prossimità degli strumenti<sup>33</sup>. L'utilizzo duale di alcuni dispositivi satellitari può rendere ancora più critico un possibile attacco nelle fasi operative di una crisi. Così in Libia le forze vicine a Gheddafi hanno oscurato il segnale delle comunicazioni mobili del sistema *Thuraya* nel febbraio 2011, limitando la copertura in gran parte del Nord Africa<sup>34</sup>, mentre un mese più tardi il Dipartimento della Difesa statunitense stanziava un ingente finanziamento alla BBC per sviluppare tecnologie adeguate a eliminare lo *jamming*, che impediva la visione del canale britannico in Cina e Iran<sup>35</sup>. Attività di offesa su satelliti in orbite non geostazionarie e con funzioni diverse (non per telecomunicazioni) sono tecnicamente più difficili a causa della difficoltà

<sup>29</sup> Wright, Grego, Gronlund, *The Physics of Space Security*, cit., p. 120.

<sup>30</sup> Ivi, p. 121.

<sup>31</sup> *Ibidem*.

<sup>32</sup> *Ibidem*.

<sup>33</sup> G. Forden, *Appendix B: Anti-satellite Weapons*, in *Ensuring America's Space Security*, report della *Federation of American Scientists* (FAS) sugli armamenti spaziali, Washington DC 2004.

<sup>34</sup> *Thuraya satellite telecom 'jammed by Libya'*, «The Gulf Base», 25 febbraio 2011, <<http://www.gulfbase.com/news/thuraya-satellite-telecom-jammed-by-libya-/168781>> (09/2016).

<sup>35</sup> B. Dowell, *BBC World Service to sign funding deal with US state department*, «The Guardian», 20 marzo 2011, <[http://www.theguardian.com/media/2011/mar/20/bbc-world-service-us-funding?CMP=tw\\_t\\_fd](http://www.theguardian.com/media/2011/mar/20/bbc-world-service-us-funding?CMP=tw_t_fd)> (09/2016).

di localizzazione e tracciamento del dispositivo satellitare, ostacolando fortemente la certezza dello *jamming* o dello *spoofing* e non garantendo nemmeno la corretta e repentina conoscenza dell'avvenuto attacco: infatti, molti dispositivi hanno un sistema che permette una minima autonomia per assicurare per qualche istante il collegamento satellitare<sup>36</sup>. Non è generalmente possibile, in ottica di contromisura, per i satelliti commerciali come per quelli militari che si trovano ad affrontare utenti diversi con capacità di trasmissione *uplink* diverse e localizzati su un ampio territorio, utilizzare antenne direzionali, le quali limitano molto il raggio di azione del segnale<sup>37</sup>. Inoltre, l'individuazione di uno *jammer* nella fase di *uplink* è altamente complicata, considerata l'ampia copertura della zona che può essere utilizzata allo scopo. Una possibilità rimane posizionare uno *jammer* per la fase di *uplink* su un piccolo dispositivo satellitare direttamente in prossimità del target, riducendo sia i tempi di esecuzione dell'operazione di offesa sia la potenza necessaria per metterla in atto (la potenza del segnale decresce nella misura di uno sopra al quadrato della distanza dalla fonte del segnale)<sup>38</sup>. Se lo *jammer* fosse in grado di orientare il proprio segnale in modo da farlo intercettare dall'antenna del satellite target, potrebbe condurre attività di *jamming* a banda larga, con maggiore quantità di segnali inviati e ricevuti e con poca potenza relativa<sup>39</sup>. La difficoltà di operare tale tipo di offesa con la modalità sopra descritte risiede nelle problematiche pratiche riguardanti il posizionamento della fonte di interferenza, la quale in orbite diverse si muove con velocità diverse rispetto a quelle del satellite da intercettare, a meno di non compiere continue manovre correttive con un notevole dispendio di propellente e di tempo<sup>40</sup>. Una soluzione potrebbe essere posizionare l'assetto spaziale *jammer* nella stessa orbita, di fianco, e alle dovute distanze, del target, il quale non incontrerebbe interferenze direttamente nella zona di trasmissione, ma le riscontrebbe con meno sensibilità nei lobi laterali dell'antenna, di cui è possibile controllare la posizione e la forma, di eliminare quindi il segnale in direzione dello *jammer* co-orbitante<sup>41</sup>.

<sup>36</sup> Cfr. Wright, Grego, Gronlund, *The Physics of Space Security*, cit., p. 122.

<sup>37</sup> *Ibidem*.

<sup>38</sup> Cfr. D. Minoli, *Satellite Systems Engineering in an IPv6 Environment*, Auerbach Publications, CRC Press, Boca Raton 2009, p. 40.

<sup>39</sup> Cfr. Wright, Grego, Gronlund, *The Physics of Space Security*, cit., p. 122.

<sup>40</sup> Uno *jammer* con orbita di 1 km sotto un satellite in orbita bassa terrestre o in orbita geostazionaria, la cui antenna è stata designata per visualizzare l'intera sezione della superficie terrestre sotto posizionata e che impiega tra le 2 e le 3 ore per superare la zona di trasmissione del ricevitore, impiegherebbe un tempo minore per coprire la stessa zona di trasmissione.

<sup>41</sup> Cfr. M. Kleiman, S. McNeil, *Red lines in outer space*, «The Space Review», 5 marzo 2012, <<http://www.thespacereview.com/article/2038/1>> (09/2016).

#### 4.2.2 *Armi a energia diretta*

Armamenti a energia diretta come laser e microonde hanno caratteristiche favorevoli per un attacco, tra cui la velocità di raggiungimento dell'obiettivo (i fasci viaggiano alla velocità della luce) e l'adattamento della potenza emanata per produrre effetti temporanei o irreversibili e permanenti. Gli svantaggi relativi alla possibile intercettazione di obiettivi solo nella propria linea di vista (*line of sight*), a meno che non si utilizzino 'specchi' per manovrare il laser<sup>42</sup>, e alla relativa facilità di difesa con scudi riflettenti, assorbenti o conduttori<sup>43</sup>, ridimensionano futuri usi di tale tipologia di armamenti.

##### *Attacchi laser*

Attacchi laser, dai danni ai sensori del satellite fino alla sua distruzione, potrebbero ritornare utili in caso di attacchi a energia diretta per la loro capacità di emettere una grande potenza in un unico fascio di energia e in una stretta banda di frequenza. La capacità tecnologica degli attori, la scelta dell'obiettivo con relativa frequenza adatta a penetrare l'atmosfera nel caso in cui tali armamenti fossero posizionati sulla superficie terrestre (*ground-based*), rivestono così un'importanza determinante.

I vantaggi di un attacco laser basato su armamenti a energia diretta, oltre alla rapidità e alla capacità di colpire più obiettivi, risiedono nel numero di emanazioni di laser limitato solamente dalla quantità di carburante chimico, nel caso di laser chimici, o di potenza elettrica, nel caso di laser a stato solido, nei relativi bassi costi, non avendo altri componenti che l'attrezzatura per il laser stesso, nella ininfluenza della gravità e nell'immunità agli attacchi elettromagnetici<sup>44</sup>. Limiti operativi sono costituiti dalla scarsa efficacia dell'attacco laser durante una turbolenza atmosferica, dal tempo (tra i tre e i cinque secondi) necessario per distruggere il target, dalla dipendenza dalla linea di vista, dal volume e peso della strumentazione, dal consumo elevato di energia relativo al tipo di armamento e dagli effetti minimi su componenti meno delicati di antenne e sensori (es. strutture corazzate)<sup>45</sup>. In tale prospettiva, sulla

<sup>42</sup> Per approfondimenti sul *Tactical Relay Mirror System* (TRMS) e su alcune considerazioni strategiche sulle potenzialità future delle armi laser si consigliano i seguenti articoli disponibili online agli indirizzi: <[http://www.boeing.com/news/frontiers/archive/2009/march/i\\_ids05.pdf](http://www.boeing.com/news/frontiers/archive/2009/march/i_ids05.pdf)>; <<http://www.globalsecurity.org/military/systems/aircraft/systems/trms.htm>> (09/2016).

<sup>43</sup> Cfr. Wright, Grego, Gronlund, *The Physics of Space Security*, cit., p. 123.

<sup>44</sup> T.A. Summers, *How is U.S. Space Power Jeopardized by an Adversary's Exploitation, Technological Developments, Employment and Engagement of Laser Anti-Satellite Weapons?*, Maxwell Air Force Base, aprile 2000, pp. 2-5.

<sup>45</sup> Cfr. A.K. Maini, V. Agrawal, *Satellite Technology: Principles and Applications*, John Wiley & Sons Ltd, Chichester 2006, p. 640.

maturità tecnologica per compiere tale tipo di attacchi va ricordato che una vasta gamma di materiali e tecniche di attacco con capacità energetiche corrispondenti sono state sviluppate<sup>46</sup>. Due categorie generali racchiudono gli armamenti laser: gli armamenti laser che riproducono continuamente fasci di energia (*Continuous Wave Laser*, CW) e gli armamenti laser che producono a intermittenza brevi fasci di energia (laser a impulso, *Pulsed Laser*)<sup>47</sup>.

La suddivisione ha una sua rilevanza ai fini della considerazione di un uso aereo-spaziale di tale armamento. Un laser CW può produrre continui flussi di energia con una basilare tecnologia, centinaia di watt di potenza a costi relativamente alti<sup>48</sup>. Sistemi più avanzati come il sistema d'arma statunitense MIRACL (*Mid-Infrared Advanced Chemical Laser*) sono nell'ordine dei megawatt ( $10^6$  watt)<sup>49</sup>. I laser a impulso possono produrre potenze elevate in una frazione di secondo (*peak power*), che diminuiscono man mano col procedere del tempo<sup>50</sup>. La lunghezza e l'energia totale per impulso, in quelli commercializzabili al massimo terawatt ( $10^{12}$  watt) in impulsi molto brevi con un'energia massima (*high pulse energy*) tra i 300 e 1 200 megajoule<sup>51</sup> sono i parametri che determinano la qualità dell'attacco laser e il suo uso operativo.

All'aumentare della potenza e della capacità distruttiva del laser aumentano le capacità di approvvigionamento energetico, di raffreddamento e, in alcuni casi, di sistema di scarico<sup>52</sup>. Ad esempio, il MIRACL che ha un funzionamento a reazione simile a quello del motore a razzo, richiede un notevole supporto energetico, mentre l'*Air-Borne Laser*, progettato principalmente per la difesa missilistica, il cui programma non ha più ricevuto fondi dal 2011 per problemi di costi relativi al dispiegamento e all'aumento necessario di energia per coprire maggiori distanze, con una potenza nell'ordine dei megawatt ha massa di circa 100 tonnellate<sup>53</sup>.

<sup>46</sup> Per avere un'idea sui vari tipi di armamenti laser si consiglia: R.J. Dunn III, *Operational Implications of Laser Weapons*, Analysis Center Paper, Northrop Grumman, settembre 2005.

<sup>47</sup> Cfr. Wright, Grego, Gronlund, *The Physics of Space Security*, cit., p. 123.

<sup>48</sup> Si tenga presente che il sistema laser ossigeno-iodio (*Chemical Oxygen Iodine Laser*, COIL) aviotrasportato del progetto Boeing-Yal 1 è costato nell'arco di 16 anni circa 5 miliardi di dollari (cfr. <[http://awin.aviationweek.com/portals/awin/cmsfiles/media/Pdf/as\\_pdf/2011/12/21/asd\\_12\\_21\\_2011.pdf](http://awin.aviationweek.com/portals/awin/cmsfiles/media/Pdf/as_pdf/2011/12/21/asd_12_21_2011.pdf)>, 09/2016).

<sup>49</sup> Il sistema MIRACL è stato collocato presso la *High Energy Laser System Test Facility* (HELSTF) nel *White Sands Missile Range* nel Nuovo Messico. Il suo fascio ha lunghezza d'onda tra i 3,6 e 4  $\mu\text{m}$  (<<http://www.wsmr.army.mil/testcenter/TE/testing/landf/Pages/HighEnergyLaserSystemsTestFacility.aspx>>, 09/2016).

<sup>50</sup> Cfr. Wright, Grego, Gronlund, *The Physics of Space Security*, cit., p. 124.

<sup>51</sup> Cfr. <[https://www.coherent.com/downloads/FUN\\_12\\_R\\_DELMDAHL\\_revised.pdf](https://www.coherent.com/downloads/FUN_12_R_DELMDAHL_revised.pdf)> (09/2016).

<sup>52</sup> Cfr. Wright, Grego, Gronlund, *The Physics of Space Security*, cit., p. 124.

<sup>53</sup> Cfr. <<http://www.airborne-laser.com/>> (09/2016).

Un sistema laser capace di raggiungere determinate quote richiede un sistema di tracciamento e di puntamento per concentrare il fascio di luce sul target e può essere posizionato sulla superficie terrestre, nello spazio aereo o sullo spazio stesso. Questi, ultimi esclusi (*space-based*), opererebbero su lunghezze d'onde a infrarosso in modo che possano propagarsi nell'atmosfera, la quale interferisce comunque con la trasmissione<sup>54</sup>.

In generale, ogni armamento laser è composto da due grandi sottosistemi: la sorgente (*Laser Source*) e il sistema di controllo del fascio (*Beam Control System*), da cui dipende irradianza (densità di potenza) e la tempistica dell'operazione<sup>55</sup>. Il fascio di luce, dopo aver lasciato l'apertura della sorgente del laser, oltrepassa l'atmosfera, nella quale l'interazione molecolare determina la qualità del fascio (rapporto tra valore di potenza/densità di energia desiderato), e si propaga verso l'obiettivo<sup>56</sup>.

Importanti parametri misurano l'efficacia di un sistema d'arma laser a energia diretta<sup>57</sup>. La lunghezza d'onda operativa è necessaria per determinare l'efficacia dell'armamento. Per comprenderne l'importanza è sufficiente considerare che per una medesima potenza e apertura laser, il sistema d'arma con una fonte di energia di 1 micrometro ( $\mu\text{m}$ ), come laser ossigeno-iodio o allo stato solido, avrà un raggio di azione dieci volte superiore a quello di sistemi simili con una fonte di 10 micrometri (laser a ossido di carbonio)<sup>58</sup>.

La qualità del fascio misura quanto possa essere concentrato e intenso lo spot di luce verso l'obiettivo fa riferimento a un valore ideale unitario (la luce del laser nel suo percorso è limitata solo dalla legge della diffrazione). Il terzo parametro è l'apertura del sistema ottico determina la capacità di concentrazione su un obiettivo del sistema laser. Le caratteristiche di trasmissione dell'atmosfera in relazione alle lunghezze d'onda rappresentano un altro criterio determinante per stabilire la perdita minima di trasmissioni del laser e la sua capacità di potenza di attacco (la trasmissione atmosferica varia dalla finestra 0,75-1,4  $\mu\text{m}$ , MWIR – *Mid-Wavelength InfraRed*, a 8-15  $\mu\text{m}$ , LWIR – *Long-Wavelength InfraRed*). Il potenziale di scalabilità, infine, è la capacità del sistema di diminuire o crescere di scala a seconda della necessità strategico-operativa relativa alla distanza del target.

### *Dazzling*

I laser sono spesso menzionati per la loro utilità in interferenze temporanee (*dazzling*) con i sensori dei satelliti di osservazione e telerile-

<sup>54</sup> Cfr. Wright, Grego, Gronlund, *The Physics of Space Security*, cit., p. 124.

<sup>55</sup> *Ibidem*.

<sup>56</sup> *Ibidem*.

<sup>57</sup> *Ibidem*.

<sup>58</sup> Ivi, p. 142.

vamento o di quei dispositivi che, in generale, acquisiscono immagini di oggetti, siano essi basati sulla superficie terrestre o nello spazio. Tale attività è effettuata solamente sul sensore del satellite che viene letteralmente abbagliato, ma non sul ricevitore o su gli altri componenti. Bersaglio ideale sono i dispositivi satellitari *remote sensing* che acquisiscono immagini ad alta risoluzione dall'importanza strategica e tattica notevole. Il funzionamento di tale dispositivo prevede che la zona osservabile rientri nel campo visivo del rilevatore ottico e del formato della lente del telescopio satellitare, zona solitamente minore rispetto all'area coperta dal satellite stesso e nell'ordine di una decina di chilometri per immagini ad elevata risoluzione<sup>59</sup>. Un attacco al sensore satellitare deve essere all'interno di tale campo visivo o altrimenti sarebbe assai difficoltoso per il laser riuscire a intercettare e raggiungere il bersaglio<sup>60</sup>. Il sistema ottico del satellite si concentra su un'immagine accuratamente scelta nel campo di vista del telescopio all'interno del piano focale<sup>61</sup>, del piano ortogonale sull'asse ottico dove viene focalizzata l'immagine, su cui è presente un sensore (o un rilevatore) fornito di un numero elevato di elementi minuscoli e estremamente sensibili alla luce (*pixel*). Ogni *pixel* genera un segnale elettrico, inviato a un sistema computerizzato, in proporzione all'intensità della luce rilevata<sup>62</sup>. Parte dell'immagine del piano focale viene ripresa dal rilevatore, mentre la rimanente passa per la camera e la lente del telescopio. La porzione di superficie terrestre corrispondente alla sezione dell'immagine del rilevatore costituisce il campo visivo di quest'ultimo. Questo può essere composto da matrici bidimensionali (immagine digitale) o lineari<sup>63</sup>. Nel primo caso, il rilevatore traccia e riceve i segnali luminosi da un'area rettangolare per produrre l'immagine ripetendo tale operazione, come un mosaico di tante piccole immagini a elevata risoluzione (*step-stare system*)<sup>64</sup>. Le seconde, invece, sono maggiormente utilizzate per l'osservazione satellitare e rilevano in maniera continua una zona specifica, registrata su un

<sup>59</sup> Ivi, p. 125.

<sup>60</sup> *Ibidem*.

<sup>61</sup> *Ibidem*.

<sup>62</sup> È esattamente il procedimento inverso con il quale il monitor del computer o lo schermo televisivo generano l'immagine: lo schermo è composto da una serie di piccoli punti e il computer crea le immagini controllandone la luminosità. Più punti vi sono nello schermo maggiore sarà la risoluzione dell'immagine.

<sup>63</sup> F.M. Ferri, *Corso di tecnologia, disegno e progettazione elettronica 1*, Hoepli, Milano 2004, pp. 344-345.

<sup>64</sup> V. Lavigne, B. Ricard, *Step-Stare Image Gathering for High-Resolution Targeting*, Defence R&D Canada Valcartier, Val-Bélair, maggio 2005, <[www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?%3FAD%3DADA472001+&cd=13&hl=it&ct=clnk&gl=it](http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?%3FAD%3DADA472001+&cd=13&hl=it&ct=clnk&gl=it)> (09/2016).

dispositivo computerizzato e, successivamente, assemblata per formare l'immagine bidimensionale (*pushbroom detector*)<sup>65</sup>.

Ogni *pixel* corrisponde a una piccola area all'interno del campo visivo e ne registra l'intensità della luce per assicurare un'elevata qualità dell'immagine, che dipende dalla vastità dell'area assegnata a ogni singolo *pixel*<sup>66</sup>. A titolo di esempio, il satellite IKONOS di risoluzione nell'ordine del metro, visualizza una zona al di sotto di esso dall'ampiezza di 11,3 km con un rilevatore di 13 500 *pixel*<sup>67</sup>, mentre il francese SPOT con una risoluzione dai 2,5 ai 5 metri ha una 'banda' di 60 km<sup>68</sup>.

Un laser posizionato sulla superficie terrestre per abbagliare un satellite con risoluzione di un metro dovrà utilizzare uno specchio dal diametro di una decina di centimetri per orientare il suo fascio di luce e concentrarlo sul dispositivo<sup>69</sup>. Dal momento che il satellite visualizza un'area per oltre dieci chilometri, quando questa passa sotto la lente del sensore, lo specchio del laser appare come un minuscolo punto di luce al suo interno: se il sistema ottico potesse creare un'immagine nitida dello specchio (ignorando gli effetti dell'atmosfera), l'immagine corrisponderebbe massimo a un paio di *pixel* (1 m)<sup>70</sup>. In tal caso questi ultimi verrebbero abbagliati dal laser.

Di solito, in un sistema ottico la luce proveniente dal laser si espande su gran parte del rilevatore, agendo su una serie di meccanismi, ovvero sugli effetti della diffrazione della luce a causa del limitato diametro del telescopio satellitare, che diffonde parte della luce in anelli intorno allo specchio del laser, su alcune piccole imperfezioni (errore nell'allineamento e nella forma delle lenti, polvere nel sistema ecc.) che tendono a espandere i raggi di luce del laser intorno all'immagine e sulla riflessione luminosa o un luccichio sui bordi della lente all'interno del sistema<sup>71</sup>.

Non sono necessarie potenze eccessive del laser per abbagliare il sensore del satellite, per il quale, se fossero acquisite immagini a alta risoluzione, si tratterebbe comunque di piccole porzioni di territorio rilevate (oscurare rilevamenti su zone maggiori implica un aumento della potenza nel rapporto 1:10). I laser attualmente in commercio soddisfano i requisiti di oscuramento, la cui minima potenza necessaria dipende, an-

<sup>65</sup> V. Baeten, P. Vermeulen, J.A. Fernández Pierna, P. Dardenne, *From targeted to untargeted detection of contaminants and foreign bodies in food and feed using NIR spectroscopy*, «New Food magazine», giugno 2014, pp. 18-23.

<sup>66</sup> Cfr. Wright, Grego, Gronlund, *The Physics of Space Security*, cit., p. 125.

<sup>67</sup> Cfr. <<http://www.euspaceimaging.com/satellites/ikonos>> (09/2016).

<sup>68</sup> Cfr. <<http://www.geo-airbusds.com/en/4388-spot-1-to-spot-5-satellite-images>> (09/2016).

<sup>69</sup> Wright, Grego, Gronlund, *The Physics of Space Security*, cit., p. 126.

<sup>70</sup> Ivi, p. 127.

<sup>71</sup> *Ibidem*.

che e ciò nonostante, dalle caratteristiche del sistema ottico del dispositivo satellitare<sup>72</sup>.

Tentativi di costruire i sensori ottici con un numero minimo di imperfezioni potrebbero sì rendere necessaria una maggiore potenza del laser e una maggior intensità di 'luce sporadica' (*straylight*), ma insieme aumentare la sensibilità del sensore stesso all'abbagliamento<sup>73</sup>. La relativa facilità di essere abbagliati non implica deterministicamente che un laser possa facilmente oscurare un sistema satellitare, dal momento che quest'ultimo è spesso equipaggiato con più sensori e filtri, i quali consentono solo a una stretta banda di lunghezza d'onda di passare e di raggiungere il rilevatore<sup>74</sup>.

Numerose immagini di un rilevamento prese con differenti lunghezze d'onda possono essere messe insieme per dare una più ampia banda di colori all'immagine stessa (es. il satellite IKONOS raccoglie luci in quattro bande)<sup>75</sup>. Anche se il laser fosse capace di superare i filtri, questi ridurrebbero notevolmente la luce totale con la quale viene raggiunto il rilevatore, a meno che chi compie l'attacco non conosca la banda di frequenza dei vari filtri e possieda dei laser adatti a operare in tali bande.

Difficoltà logistiche del laser, dovendo questo rientrare nel campo visivo del sensore, riducono le possibilità di attacco *dazzling* con laser posizionati nello spazio, mentre contromisure possono risiedere nel direzionare il satellite durante l'attività di rilevamento o chiudere un otturatore per evitare che la luce raggiunga il sensore<sup>76</sup>.

### *Accecamento parziale*

A una sufficiente alta intensità la luce di un laser può danneggiare in maniera permanente i sensori di un satellite, come il caso di un abbagliamento parziale, relativo, cioè, solo a una porzione del sensore, conducendo all'ablazione o alla vaporizzazione di parti del rilevatore attraverso i

<sup>72</sup> *Ibidem*.

<sup>73</sup> Durante un test nel 1997, un laser di tracciamento posizionato a terra con una potenza di 30 W è riuscito ad 'abbagliare' un satellite a 500 km di altezza (J. Donnelly, *Laser of 30 Watts Blinded Satellite 300 Miles High*, «Defense Week», 8 dicembre 1987, p. 1; L. Grego, *A History of Anti-Satellite Weapons Programs*, Union of Concerned Scientists).

<sup>74</sup> Wright, Grego, Gronlund, *The Physics of Space Security*, cit., p. 128.

<sup>75</sup> Cfr. <<http://www.euspaceimaging.com/satellites/ikonos>> (09/2016).

<sup>76</sup> B. Gopalswamy, G. Kampani, *Piggybacking Anti-Satellite Technologies on Ballistic Missile Defense: India's Hedge and Demonstrate Approach*, *Carnegie Endowment for International Peace*, 19 aprile 2011, <<http://carnegieendowment.org/2011/04/19/piggybacking-anti-satellite-technologies-on-ballistic-missile-defense-india-s-hedge-and-demonstrate-approach>> (09/2016).

materiali stessi o i componenti elettrici<sup>77</sup>. Inoltre, il gradiente di temperatura prodotto dal laser può produrre stress termo-meccanici<sup>78</sup>.

Come l'abbagliamento, un attacco di 'accecamento' deve trovarsi all'interno del campo visivo del sensore per raggiungere il rilevatore satellitare, anche se per un periodo notevolmente minore<sup>79</sup>.

Il sistema ottico del satellite aiuta l'affluenza di energia del laser nel raggiungere il dispositivo, mettendo a fuoco il laser all'interno del rilevatore e restringendo, così, la regione ad alta intensità a un piccola parte di questo, in modo che solo pochi *pixel* vengano danneggiati permanentemente. Per rilevatori del tipo *pushbroom* lineari, i *pixel* danneggiati consisteranno in linee mancanti nelle immagine rilevate nella fascia sottostante il rilevatore<sup>80</sup>. È comprensibile, quindi, come attacchi del genere possano sconsigliare fortemente gli operatori satellitari a visualizzare l'area dove dati di *intelligence* hanno mostrato la presenza di armamenti laser.

La concentrazione del fascio può essere stimata come il rapporto dell'area visualizzata dal telescopio del satellite e l'area del rilevatore all'interno della quale la luce viene concentrata<sup>81</sup>. Un rilevatore lineare di immagini ad alta risoluzione su un'area di 1 m<sup>2</sup>, quale l'area di uno specchio di un armamento laser, ne raccoglie la luce in un decimo di millesimo di secondo prima di spostarsi su un'area adiacente<sup>82</sup>. La brevità di tempo richiede una notevole concentrazione di energia sia essa proveniente da un laser a impulso o da un CW laser. Se questa è sufficientemente elevata per il sistema ottico satellitare con risoluzione di un metro, anche un laser con una bassa potenza (decine di watt per CW laser e mJ a impulso per laser a impulso) sembra bastare per far riportare danni a parti del sensore (il rapporto è, come il precedente, di 1:10).

Contrariamente al *dazzling*, un accecamento parziale potrebbe avvenire anche con laser posizionati nello spazio, dal momento che questo deve essere nel campo visivo del sensore solo per un brevissimo periodo e la distanza ravvicinata riduce notevolmente la potenza necessaria rispetto ad armamenti laser posizionati sulla superficie terrestre.

<sup>77</sup> Cfr. Wright, Grego, Gronlund, *The Physics of Space Security*, cit., 128.

<sup>78</sup> Sull'argomento si consiglia: Li Gang et al., *Laser-induced damages to charge coupled device detector using a high-repetition-rate and high-peak-power laser*, «Optics & Laser Technology», aprile 2013, pp. 221-227; M. Acharekar et al., *Calculated and Measured Laser Induced Damage Threshold (LIDT) in Glass Metal Optics*, *Proceedings of SPIE*, 3902, 2000, pp. 85-96; e le letture consigliate in *Laser ASAT Test Verification* sul sito della *Federation of American Scientists* (<<http://fas.org/spp/military/program/asat/overview.htm>>, 09/2016).

<sup>79</sup> Cfr. Wright, Grego, Gronlund, *The Physics of Space Security*, cit., p. 129.

<sup>80</sup> Ivi, p. 128.

<sup>81</sup> *Ibidem*.

<sup>82</sup> *Ibidem*.

Gli otturatori potrebbero aiutare a proteggere il dispositivo satellitare da attività di accecamento, ma la brevità del tempo di reazione ostacola fortemente tale sistema di protezione. Potrebbe, però, essere presente un sensore a bassa intensità per coprire l'area al posto del sensore primario o attivare una fase di puntamento di potenza inferiore precedentemente all'attacco, oppure ancora interporre tra il sensore e il fascio di luce un materiale opaco che funzioni all'occorrenza da interruttore al sensore stesso<sup>83</sup>.

Come nel caso precedente, un laser che agisca su una determinata lunghezza d'onda può arrivare con un'alta intensità sul rilevatore solo passando attraverso i filtri ottici dello stesso. La riuscita dell'operazione di accecamento è resa ardua anche dalla necessità di energia relativa alle caratteristiche ottiche del sensore e del sistema: mentre, infatti, per l'attacco a satelliti civili o commerciali tali caratteristiche sono facilmente reperibili sul web, per satelliti militari che compiono attività di *intelligence*, spesso obiettivi delle attività di accecamento, possono essere ipotizzate sulla base della necessità di ampie lunghezze d'onda per superare le interferenze dell'atmosfera e aumentare le capacità del segnale o, al più, raccolte, a loro volta, da altre attività di *intelligence*<sup>84</sup>.

*Possibili danni alla struttura del dispositivo satellitare in seguito a attacco laser*

Laser a elevata potenza riversano sul satellite un elevato ammontare di energia, provocando il calore necessario per mandare in tilt il delicato equilibrio termico del dispositivo e, se particolarmente intenso, conseguire danni permanenti alla componente elettronica del satellite o alla struttura stessa, allentando la chiusura dei serbatoi pressurizzati delle batterie del satellite o rendendo inefficace il lavoro dei pannelli solari<sup>85</sup>. Non essendo gli attacchi indirizzati direttamente al sensore, essi possono avvenire in qualsiasi luogo delle linee di vista del satellite, e non del campo visivo del sensore, previa sufficiente potenza in dotazione del laser tale da poter compromettere la carrozza o il carico utile del dispositivo<sup>86</sup>. Gli studi sugli attacchi laser dimostrano come per dispositivi non sufficientemente protetti in orbita bassa terrestre siano sufficienti potenze nell'ordine del megawatt e pochi istanti per raggiungere il bersaglio, mentre,

<sup>83</sup> A.B. Carter, *Satellites and Anti-Satellites: The Limits of the Possible*, «International Security», X, primavera 1986, pp. 46-98.

<sup>84</sup> Vd. nota 29.

<sup>85</sup> Per considerazioni sui danni ai pannelli solari a causa dell'eccessivo calore, si consiglia quanto scritto in *Laser ASAT Test Verification* sul sito della *Federation of American Scientists* (<<http://fas.org/spp/military/program/asat/overview.htm>>, 09/2016) e J. Huntington, *Improving Satellite Protection with Nanotechnology*, Washington DC, BiblioGov, 2012.

<sup>86</sup> Wright, Grego, Gronlund, *The Physics of Space Security*, cit., p. 134.

per i componenti più delicati, lo stesso risultato può essere raggiunto per ordini di grandezza in kilowatt e per un periodo di tempo maggiore<sup>87</sup>. L'altezza del satellite potrebbe risultare solo una parziale protezione per attacchi laser da terra, aviotrasportati o in orbita bassa.

Sviluppare tale tecnica di armamenti non solo è altamente costoso, ma è riservato strettamente a quegli attori che hanno uno sviluppo tecnologico altamente sofisticato, o quanto meno un laser abbastanza potente e uno specchio in grado di concentrare il fascio e, per quelli posizionati sulla superficie terrestre, una lente in grado di ridurre gli effetti dell'atmosfera. Attualmente, molti programmi di sviluppo di sistemi d'arma laser posizionati nello spazio sono stati abbandonati, mentre permangono alcuni programmi di supporto tattico a tali sistemi d'arma, in particolare, nell'ottica di diniego delle funzioni C4ISR avversarie<sup>88</sup>. Un primo dispiegamento di *Laser Weapon System (LaWS)* è stato annunciato dalla Marina statunitense a bordo della *USS Ponce*, attualmente di stanza nel Golfo Persico<sup>89</sup>.

Alcune misure difensive o contromisure eventualmente azionate dal dispositivo potrebbero essere costituite da una migliore protezione della superficie esposta o dall'installazione di uno scudo da utilizzare all'occorrenza contro la luce del laser. Se quest'ultimo dovesse essere posizionato nello spazio, sia i tempi di offesa che di dispiegamento della contromisura giocherebbero un ruolo determinante: l'aumento del tempo delle operazioni comporterebbe, infatti, anche un notevole consumo di energia e delle risorse del dispositivo stesso<sup>90</sup>. Le possibilità di riuscita dell'attacco aumentano considerevolmente nel caso in cui il satellite sia completamente privo di qualsiasi tipo di protezione. Tale eventualità, per i satelliti in orbita bassa terrestre, può essere facilmente visualizzata da terra tramite telescopi o, altrimenti, attendendo cambiamenti nel tracciamento del dispositivo e nelle funzioni della fase di *downlink*<sup>91</sup>.

#### *Attacchi con armi a microonde ad elevata potenza (HPM)*

Un'altra tipologia di armi a energia diretta con capacità di offesa sugli assetti spaziali è costituita da armamenti che producono microonde a elevata potenza (*High-Powered Microwaves*, HPM). Le microonde, soli-

<sup>87</sup> T.A. Mehlhorn, *National Security Research in Plasma Physics and Pulsed Power: Past, Present, and Future*, «IEEE Transactions on Plasma Science», XL (5), maggio 2014, pp. 1088-1117.

<sup>88</sup> Cfr. *Defense Science Board (DSB) Task Force on Directed Energy Weapons*, Department of Defense, Washington DC, novembre 2007.

<sup>89</sup> <[http://www.navy.mil/submit/display.asp?story\\_id=80172](http://www.navy.mil/submit/display.asp?story_id=80172)> (09/2016).

<sup>90</sup> <[http://www.rheinmetall.com/en/rheinmetall\\_ag/press/themen\\_im\\_fokus/zukunftswaffe\\_hel/index.php](http://www.rheinmetall.com/en/rheinmetall_ag/press/themen_im_fokus/zukunftswaffe_hel/index.php)> (09/2016).

<sup>91</sup> Wright, Grego, Gronlund, *The Physics of Space Security*, cit., p. 135.

tamente utilizzate per i segnali radar, sono onde elettromagnetiche con lunghezza d'onda minore rispetto alle onde radio, ma superiore alla luce visibile (banda di frequenza tra 1 GHz, 30 cm di lunghezza d'onda, a 300 GHz, 1 mm di lunghezza d'onda)<sup>92</sup>. Attacchi HPM possono partire sia dalla superficie terrestre che dallo spazio. Nella prima ipotesi la distanza richiederebbe un elevato livello di potenza emessa e un'antenna di notevoli dimensioni per concentrare il fascio (tale necessità è dovuta alla concentrazione delle microonde, le quali hanno lunghezza d'onda molto più lunghe di quelle della luce)<sup>93</sup>. Inoltre, essendo l'atmosfera un limite determinante alla loro trasmissione, sarebbe maggiormente efficiente che un attacco HPM avvenisse in brevi distanze e con sistemi d'arma posizionati nello spazio o lanciati da un missile suborbitale<sup>94</sup>.

Radiazioni microonde a alta intensità, capaci di colpire i componenti di un satellite, possono danneggiare in maniera permanente l'elettronica del dispositivo. In un attacco, per così dire, 'non distruttivo', le microonde possono far resettare il sistema computerizzato, renderne incomprensibili i comandi e inefficaci le funzioni, sia durante l'attacco che negli istanti successivi<sup>95</sup>.

L'attacco HPM all'elettronica del satellite può avvenire in maniera periferica (*back door*) o nella fase di input (*front door*)<sup>96</sup>. Gli ultimi avvengono attraverso l'antenna usata per la trasmissione e le comunicazioni, la quale riceve e amplifica i segnali radio in una determinata frequenza, così che essi debbano avvenire nella zona di trasmissione e in qualsiasi frequenza il dispositivo sia in grado di ricevere i dati. A differenza di un attacco *jamming*, l'attacco HPM utilizza un breve impulso ad alta potenza e deve essere presente nella zona di trasmissione solo per un breve istante<sup>97</sup>. I segnali deboli, di solito, vengono captati dal sistema satellitare, il quale, se viene inondato da microonde ad alta intensità e non accuratamente protetto, può subire danni permanenti<sup>98</sup>. Dal momento che tali attacchi possono scaricare un notevole flusso di energia sul satellite, se quest'ultimo dovesse essere in grado di impedire l'afflusso di segnali particolarmente potenti, la riuscita dell'offesa non sarebbe così scontata

<sup>92</sup> *Ibidem*.

<sup>93</sup> <<http://fas.org/spp/military/docops/defense/dtap/weapons/ch100309.htm>> (09/2016).

<sup>94</sup> <<http://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/hpm.htm>> (09/2016).

<sup>95</sup> Cfr. E. Kovacs, *China Wants to Take Out US Satellites with Microwave Pulses*, «Softpedia», 1 maggio 2012, <<http://news.softpedia.com/news/China-Wants-to-Take-Out-US-Satellites-with-Microwave-Pulses-267217.shtml>> (09/2016).

<sup>96</sup> J. Benford, J.A. Swegle, E. Schamiloglu, *High Power Microwaves*, Plasma Physics, CRC Press, Boca Raton 2007 (II ed.), pp. 222 ss.

<sup>97</sup> *Ibidem*.

<sup>98</sup> C. Wilson, *High Altitude Electromagnetic Pulse (HEMP) and High Power Microwave (HPM) Devices: Threat Assessments*, CRS Report for Congress, Washington DC, luglio 2008.

e non potrebbe essere garantita da eventuali attività di *intelligence* sulle caratteristiche del dispositivo satellitare<sup>99</sup>.

Gli attacchi *back door*, invece, colpiscono il dispositivo in altri componenti (antenna esclusa), entrando dalla porta di servizio (in inglese, *back door*), mentre l'involucro metallico del satellite aiuta a proteggere la sezione elettronica da attacchi microonde, che possono, comunque, entrare dalle saldature o da piccoli spazi vuoti della parte sotto attacco<sup>100</sup>. Se si dovesse raggiungere l'attacco in tal maniera, le microonde potrebbero danneggiare e interagire con gran parte dei componenti elettronici satellitari. Dal momento che essi non avvengono tramite l'antenna, poi, non è necessaria la presenza dell'offesa né nella zona di trasmissione né sulla stessa banda di frequenza del dispositivo.<sup>101</sup>

L'incertezza della riuscita dell'attacco rimane alta, dipendendo essa da altri fattori esogeni, come la qualità di costruzione del dispositivo o gli effetti del tempo sui meccanismi dello stesso. La frequenza delle microonde, capace di entrare negli spazi colpevolmente o inconsapevolmente lasciati vuoti, è legata alle dimensioni di tali aperture. La riuscita dell'attacco può essere aumentata con variazioni di frequenza nel tempo delle microonde (*chirping*), che diminuisce, allo stesso tempo, l'intensità per ogni frequenza, limitando la forza di ogni singolo attacco<sup>102</sup>. Dal momento che i segnali delle microonde non sono recepiti e amplificati come in un attacco *front door*, il livello di potenza richiesto per il successo di un attacco *back door* è significativamente maggiore<sup>103</sup>.

La tecnologia HPM è in fase di rapida maturazione<sup>104</sup>. Le principali questioni tecniche riguardano la generazione di elevate potenze da dispositivi di modeste dimensioni e il trasferimento delle emissioni da una

<sup>99</sup> La capacità di resistenza del dispositivo non è calcolabile, dal momento che essa dipende anche dalle caratteristiche del sistema attaccato. Uno studio compiuto da H. Keith Florig ha stimato che il flusso (energia per unità di superficie) in *front door* di circa 100 J/m<sup>2</sup> danneggerebbe la schermata elettronica direttamente collegata all'antenna (H.K. Florig, *The future battlefield: a blast of gigawatts? [microwave-based weapons]*, «IEEE Spectrum», XXV, marzo 1998, pp. 50-54).

<sup>100</sup> Wright, Grego, Gronlund, *The Physics of Space Security*, cit., p. 131.

<sup>101</sup> Qi Wang, Bo Wang, Bin Wu, *Study on Threats to Security of Space TT&C Systems*, in *Proceedings of the 26th Conference of Spacecraft TT&C Technology in China: Shared and Flexible TT&C (Tracking, Telemetry and Command) Systems, Lecture Notes in Electrical Engineering*, CLXXXVII, 2013, pp. 67-73.

<sup>102</sup> Cfr. <<http://www.ousairpower.net/PDF-A/E-Bomb-Presentation-IWC-Washington-DC-1996.pdf>> (09/2016).

<sup>103</sup> Wright, Grego, Gronlund, *The Physics of Space Security*, cit., p. 132.

<sup>104</sup> B. Gertz, *Inside the Ring: North Korean EMP*, «The Washington Times», 18 luglio 2012, <<http://www.washingtontimes.com/news/2012/jul/18/inside-ring-north-korean-emp/?page=all>> (09/2016).

piattaforma facilmente utilizzabile e notevolmente robusta<sup>105</sup>. Una delle più avanzate e solide fonti di HPM è il *Vircator* (*Virtual Cathode Oscillator*), che può raggiungere apici di potenza elevati, di decina di gigawatt alla frequenza gigahertz (o anche su frequenze differenti) dei satelliti per le comunicazioni, ad esempio<sup>106</sup>. Il dispositivo produce potenza utilizzando un generatore esplosivo con un relativo raggio di azione non molto elevato (1 m di antenna per 1 km)<sup>107</sup>.

La reale efficienza di tali armamenti rimane ancora incerta tanto che si preferisce non impiegarli per obiettivi considerati determinanti, anche perché gli effetti dipendono, come visto, dalle caratteristiche particolari del dispositivo satellitare. L'installazione nello spazio di dispositivi in grado di effettuare HPM rimane una possibilità per i soli attori dotati di capacità aereo-spaziali e rimane facilmente individuabile da radar o sensori co-orbitali, non in maniera altrettanto agevole se vi fosse l'opportunità di spostarsi o di avvicinarsi all'obiettivo gradualmente, previo corretto orientamento dell'arma stessa<sup>108</sup>. Senza essere a conoscenza del funzionamento della fase di *downlink*, chi commette l'offesa non può percepire istantaneamente il successo dell'attacco e, persino, se il satellite fosse danneggiato permanentemente, tale percezione potrebbe arrivare dopo alcune settimane in un'ottica di costante monitoraggio e tracciamento del target, che potrebbe, a sua volta, essere complicato da un eventuale errore nella messa in orbita del satellite<sup>109</sup>.

#### 4.2.3 Attacchi alla stazione di terra

Gli operatori satellitari comandano il dispositivo dalla stazione di terra, che potrebbe diventare il target di sistema d'arma estranei, di attori che operano all'interno della stazione stessa o, in maniera remota, di *hacker*. Le precauzioni che i primi possono mettere in opera includono il controllo delle esperienze precedenti dei loro dipendenti, la

<sup>105</sup> Cfr. Wilson, *High Altitude Electromagnetic Pulse (HEMP) and High Power Microwave (HPM) Devices: Threat Assessments*, cit.; C. Kopp, *The Electromagnetic Bomb – a Weapon of Electrical Mass Destruction*, «APA Mirror – US Air Force Air & Space Power Journal – Chronicles», 2014, <<http://www.ausairpower.net/ASPC-E-Bomb-Mirror.html>> (09/2016).

<sup>106</sup> L. Dražan, R. Vrána, *Virtual Cathode Oscillator for Repeated Generation HPM*, «Advances in MT», II, 2007, pp. 103-120.

<sup>107</sup> Florig, *The future battlefield: a blast of gigawatts? [microwave-based weapons]*, cit. Lo studio considera un'energia di 105 J/m<sup>2</sup> per rendere inutilizzabile un computer in un impulso di un millisecondo.

<sup>108</sup> S. Lambakis, *On the Edge of Earth: The Future of American Space Power*, The University of Kentucky Press, Lexington 2001, pp. 247-248.

<sup>109</sup> Cfr. P. Podvig, *History and the Current Status of the Russian Early-Warning System*, «Science and Global Security», X, 2000.

protezione fisica della stazione e le previsioni di spostamento delle operazioni in un'altra *facility* per non impedire il pieno espletamento delle funzioni del dispositivo. Un attacco potrebbe perdurare per un po' di tempo consentendo all'operatore di restaurare il corretto svolgimento delle operazioni in un breve periodo per trasferire il controllo del dispositivo a una stazione di *back-up*. Inoltre, a differenza degli attacchi diretti al satellite, gli attacchi alla stazione di terra sono logisticamente molto più semplici da riparare<sup>110</sup>.

#### 4.2.4 *Cyber attacks*

La vulnerabilità ad attacchi di tipo informatico, utilizzati per intercettare, 'corrompere', danneggiare i dati, o persino prendere il controllo del sistema di comunicazione satellitare per scopi propri, si differenziano dalla tipologia elettronica degli attacchi per il target potenziale di dati e del loro sistema di trasmissione<sup>111</sup>. Ogni interfaccia di dati, ogni trasmissione, è un punto di possibile offesa, incluse le antenne di satelliti e terminali e le connessioni con le stazioni di terra. Attacchi cibernetici possono colpire direttamente il satellite, la stazione di controllo di terra o i terminali, o essere ognuno di questi il *placet* per ulteriori attacchi sugli altri segmenti. Gli effetti di tali attacchi possono causare interruzioni del segnale locale, semplicemente rendendo a connessione del terminale *offline*, o potenziali perdite permanenti al sistema del dispositivo satellitare nel caso di ripetuti attacchi al cuore del sistema<sup>112</sup>. La difficoltà, o meglio l'impossibilità, nell'attribuzione dell'offesa è un'impresa ancora più ardua se si considera il plausibile uso di server di origine nei luoghi più disparati. Gli scopi di un *cyber attack* includono la detenzione e il monitoraggio delle comunicazioni, intercettazione e sfruttamento dei dati, danneggiamento e sovraccarico del sistema di trasmissione. A fini esplicativi: un avversario potrebbe raggiungere l'accesso al sistema per visualizzare il flusso di dati e acquisire, così, informazioni sensibili, come la localizzazione dell'utente finale o l'identificazione degli utenti stessi, oppure intercettare le comunicazioni acquisendo un enorme vantaggio operativo, o ancora mascherare un attacco come un errore del sistema per far porre dagli utenti una questione di integrità, ossia di qualità del servizio del sistema stesso<sup>113</sup>. Prendere il controllo del dispositivo resta il danno maggiore arrecabile a un operatore sia che esso abbia come fine l'inter-

<sup>110</sup> Wright, Grego, Gronlund, *The Physics of Space Security*, cit., pp. 133-134.

<sup>111</sup> T. Harrison, *The Future of MILSATCOM*, Center for Strategic and Budgetary Assessment, Washington DC 2013, p. 12.

<sup>112</sup> *Ibidem*.

<sup>113</sup> *Ibidem*.

ruzione completa del flusso di dati e del servizio, sia che riguardi possibili danni al dispositivo stesso come il cambiamento dell'orbita del satellite, lo spreco delle sue risorse energetiche o i danni ai componenti elettronici. Anche attacchi di quest'ultimo tipo non sono facilmente identificabili, dal momento che situazioni di malfunzionamento, soprattutto per satelliti di vecchie generazioni, accadono non di rado<sup>114</sup>. L'attacco cibernetico alla costellazione Terra EOS della Nasa per l'osservazione terrestre<sup>115</sup> e il blocco dell'accesso ai dati dei satelliti meteorologici NOAA<sup>116</sup> sono solo alcuni esempi di come la minaccia cibernetica non solo coinvolga in maniera più frequente l'ambiente spaziale, ma anche come questa vada al cuore strategico degli assetti spaziali stessi: le funzioni di Comando e Controllo del flusso di dati, il fine ultimo di ogni dispositivo satellitare.

<sup>114</sup> *Ibidem.*

<sup>115</sup> U.S.-China Economic and Security Review Commission, *2011 Report to Congress*, p. 216.

<sup>116</sup> M.P. Flaherty, J. Samenow, L. Rein, *Chinese hack U.S. weather systems, satellite network*, «The Washington Post», 12 novembre 2014, <[http://www.washingtonpost.com/local/chinese-hack-us-weather-systems-satellite-network/2014/11/12/bef1206a-68e9-11e4-b053-65cea7903f2e\\_story.html](http://www.washingtonpost.com/local/chinese-hack-us-weather-systems-satellite-network/2014/11/12/bef1206a-68e9-11e4-b053-65cea7903f2e_story.html)> (09/2016).

## CAPITOLO 5

### FUNZIONE NET-CENTRICA DELLO SPAZIO IN FUTURI SCENARI DI GUERRA: IL CASO NATO NEC OVER SATCOM

The empirical approach, though necessary, is not sufficient. The correlation of events means nothing, or at least should not be taken to mean anything, apart from the analysis that accompanies it. [...] We may not be in a situation where one can consider just the patient's tonsils or his appendix. Both may be infected but removing either may kill the patient. In other words, understanding the likely consequences of any one cause may depend on understanding its relation to other cause.  
[K.N. Waltz, *Man, the State and War*, 1959]

Il presente capitolo si occuperà di rilevare i possibili impieghi futuri di un'infrastruttura spaziale. Le funzioni di interoperabilità, di moltiplicatore delle forze, di integrazione e di supporto rivestiranno sempre di più un ruolo operativo determinante, *a fortiori* associate ai 'vitali' aspetti cosiddetti C4ISR. Pertanto, lo spazio andrà inteso non solo come utile dominio per attività strategiche di prevenzione delle minacce (*early warning*) e di *intelligence* (es. IMINT, GEOINT), che ritrovano ora ampio margine con l'impiego dei veicoli di accesso autonomo e dei minisatelliti, bensì come strumento operativo principale di trasmissione di enormi quantità di dati, alla luce della maggiore complessità dei *Big Data* e dei recenti sviluppi tecnologici relativi all'uso di fibre ottiche e di strumenti laser.

#### 5.1 (Infra)struttura spaziale e funzioni di Comando e Controllo (C2)

I termini 'Comando' e 'Controllo', per dirla con Jomini, «le commandement des armées et la direction supérieure des opérations»<sup>1</sup>, rappresentano due funzioni chiave della strategia. Lo stesso accostamento della funzione del controllare con quella del comandare è di per sé significativa: mentre la prima richiede un meccanismo di *feedback*, di ritorno, che obblighi il controllore a ottenere nuove informazioni all'interno del sistema di continua rigenerazione del processo, la seconda definisce la

<sup>1</sup> Barone Antoine Henry de Jomini, *Précis de l'Art de la Guerre*, cit., cap. II, art. 14, pp. 108-112.

mera trasmissione degli ordini. L'accostamento tra i due termini emerge a metà del secolo scorso nella famosa frase rivolta dal presidente Truman al generale MacArthur con la quale ordinava di «take command and control of the forces»<sup>2</sup>. L'antropomorfizzazione del termine 'comando' usata dall'epoca napoleonica in poi, ovvero l'identificazione del comando con il comandante ha spostato la direzione degli studi verso l'analisi del suo esercizio da parte di determinati soggetti: generalmente, insieme a molte definizioni ufficiali, si è portati a dire che ogni comandante ha il proprio stile e una propria arte di comando sul cosa fare e sul come debba essere fatto<sup>3</sup>, come definite da Rochlin:

Il comando è da sempre un processo ciclico aperto: il comandante imposta la battaglia, dà istruzioni previste per qualsiasi eventualità che può essere pianificata e, poi, dà ordini da eseguire. Ciò fatto, le capacità di intervento sono minime. All'opposto, il controllo è un processo ciclico chiuso con *feedback*, analisi e interazioni: non è possibile persino considerare la transizione dal comando al controllo fino alla disponibilità dei moderni strumenti tecnici di *intelligence* e comunicazione<sup>4</sup>.

La visione *commander-centric* si oppone *in toto* alla varietà delle funzioni richieste alla complessità dei moderni conflitti. In un certo senso, si può racchiudere quest'opposizione nella semplice constatazione che nessuna singola entità nello sforzo bellico moderno riveste la funzione del comando<sup>5</sup>.

Due domini scientifici hanno fatto proprio tale oggetto di studio delle nobili funzioni. Da un lato, la *Control Theory*, o teoria del controllo, a prestito dall'ingegneria elettronica e dalla cibernetica, ha di solito decomposto il processo strategico-operativo in piccoli passi richiesti per controllare il campo di battaglia (*battlespace*), tra i quali monitorare la situazione, sviluppare la *situational awareness* (SA), ossia la consapevolezza degli avvenimenti, un supporto al processo decisionale insieme a una guida in grado di ampliare le decisioni e stabilire un corretto meccanismo ciclico e perpetuo di ritorno (*feedback*) per un controllo continuo delle circostanze<sup>6</sup>. Esempi classici di come le funzioni C2 siano state inqua-

<sup>2</sup> D. MacArthur, *Reminiscences*, McGraw-Hill, New York 1964.

<sup>3</sup> D.S. Alberts, R.E. Hayes, *Command Arrangements for Peace Operations*, CCRP, Washington DC 1995, pp. 5-6; Id., *Understanding Command and Control*, CCRP, Washington DC 2006, cap. IV; NATO Glossary: <<https://nso.nato.int/natoterm/Web.mvc>> (12/2016); <[http://www.dtic.mil/doctrine/dod\\_dictionary/data/c/3223.html](http://www.dtic.mil/doctrine/dod_dictionary/data/c/3223.html)> (12/2016).

<sup>4</sup> G.I. Rochlin, *Trapped in the Net: The Unanticipated Consequences of Computerization*, Princeton University Press, Princeton 1997, p. 204.

<sup>5</sup> D.S. Alberts, R.K. Huber, J. Moffat, *NATO NEC C2 Maturity Model*, CCRP, Washington DC, febbraio 2010, p. 15.

<sup>6</sup> Per approfondimenti si consiglia *Joint Directors of Laboratories. Proceedings of the 1989 Command and Control Research Symposium Sponsored by the Basic Research Group, Joint*

drate all'interno della teoria del controllo si ritrovano nei lavori di Joel Lawson sulla tattica navale<sup>7</sup>, di Wohl sulla gestione dell'uso della forza<sup>8</sup> e di Levis e Athans sullo sviluppo dell'HEAT (*Headquarters Effectiveness Assessment Tool*) e il corrispettivo militare ACCES (*Army Command and Control Evaluation System*), che hanno designato le cinque cruciali dimensioni per la valutazione della qualità delle informazioni da parte del centro di comando: completezza, correttezza, qualità temporale o attualità, accuratezza o livello di precisione, rilevanza nei differenti centri di comando, nel campo e nelle applicazioni specifiche dell'informazione<sup>9</sup>. Sono stati posti in questo modo gli scopi di tali funzioni, incarnate nelle due qualità fondamentali di massima riduzione dell'incertezza e di massimo controllo su specifiche situazioni. La difficoltà della gestione di aspetti del tutto nuovi del conflitto, o meglio la loro interdipendenza (es. *intelligence*, logistica, pianificazione), ha imposto una rivalutazione del modello che non può essere racchiuso in considerazioni prettamente e sin troppo ingegneristiche.

Dall'altro lato, lo studio del processo decisionale (*Decision Making*) ha posto la questione C2 in un'ottica legata maggiormente agli studi sociali, in particolare, all'analisi del pensiero di gruppo di Janis<sup>10</sup>, al modello del *Recognition Primed Decision Making* (RPD) e del *Naturalistic Decision Making* (decisioni che a causa, ad esempio, del rischio elevato delle loro conseguenze devono essere prese rapidamente) di Klein<sup>11</sup>, al *Sensemaking* (costruzione del significato) e di *Enactment* (interazione e costruzione dell'ambiente in cui agiscono gli attori) di Weick<sup>12</sup> e agli autori che vedono nel comando il fulcro della strategia come Allard, Pigeau e Mc-

*Directors of Laboratories*, McLean, Information Systems Division, SAIC, Inc, 1989.

<sup>7</sup> J.S. Jr. Lawson, *Naval Tactical C3 Architecture 1985-1995*, «Signal», XXXIII (10), agosto 1979, pp. 71-76; J.S. Jr. Lawson, *Command Control as a Process*, *Proc. IEEE Conference on Decision and Control*, Albuquerque, dicembre 1980, *Naval Electronic Systems Command*, pp. 5-11.

<sup>8</sup> J. Wohl, *Force Management Decision Requirements for Air Force Tactical Command and Control*, «IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics», SMC-1 1 (9), settembre 1981, pp. 618-639.

<sup>9</sup> D.S. Alberts et al., *Understanding Information Age Warfare*, CCRP, Washington DC, agosto 2001, p. 84.

<sup>10</sup> I. Janis, *Groupthink: Psychological Studies of Policy Decision and Fiascos*, Houghton Mifflin, Boston 1982 (II ed.).

<sup>11</sup> G.A. Klein, *Sources of Power: How People Make Decisions*, MIT Press, Cambridge 1998; G.A. Klein, E. Salas, *Linking Expertise and Naturalistic Decision Making*, Mahwah, Lawrence, Erlbaum Associ., 2001.

<sup>12</sup> K.E. Weick, *The Collapse of Sensemaking in Organizations: The Mann Gulch Disaster*, «Administrative Science Quarterly», Ithaca, dicembre 1993, p. 38. In italiano, si consiglia: K.E. Weick, *Organizzare. La Psicologia Sociale dei Processi Organizzativi*, a cura di B. Bernardi e M. Warglien, Isedi, Torino 1993.

Cann<sup>13</sup>. L'importanza individuale della decisione è la chiave di lettura del *Decision Making* sia sotto una luce psicologico-cognitiva che in ottica delle teorie dell'apprendimento e dei limiti dell'individuo, ancora più marcati nel caso di mancata conoscenza o estrema complessità dell'avversario e della decisione da prendere. A tali sforzi teorici, sin troppo introspettivi, ai quali va aggiunta una più ampia prospettiva per garantire una visione adeguata, garanzia di successo o di compimento della decisione, non si addicono situazioni complesse come l'emersione delle situazioni di conflitto contemporanee o indagini sul corretto svolgimento individuale o di interazioni individuali (e collettive) del processo decisionale.

L'aumento di importanza del fattore tecnologico ha fatto sì che la disciplina degli Studi Strategici e lo studio delle funzioni C2 si ampliassero inglobando via via altre lettere (la C, in particolare), acronimi di 'vitali' funzioni: così la tecnologia delle Comunicazioni (C3: *Command, Control, Communications*), di cui è il caso a proposito di sottolineare l'enfasi assegnata al calcolo della probabilità di ricezione del corretto messaggio (PCMR, *Probability of Correct Message Receipt*)<sup>14</sup>; allo stesso modo, la Computerizzazione e l'importanza delle informazioni di *Intelligence* (C4I: *Command, Control, Communications, Computers Intelligence*). L'ampliamento delle preoccupazioni strategiche di per sé inarrestabile e l'aumento, o anche la maturità dell'integrazione dei sistemi d'arma e dei sistemi di combattimento nonché della rete, intesa come *networking* sociale, comunicativo e informativo, è destinato a produrre anch'esso un cambiamento nelle funzioni di Comando e Controllo tanto che ora si inizia a parlare di C5ISR, dove la C ulteriore sta per *Combat System*<sup>15</sup>.

La questione della stretta relazione, sino a immaginarne un'evoluzione parallela, tra *res militaria* e cambiamento tecnologico è centrale nella teoria della *Network Centric Warfare* (NCW). Questa ridimensiona il rapporto tra responsabilità nelle attività di comando e responsabilità nelle fasi di esecuzione. Le convinzioni o basi teoriche che sottostanno a tale concetto sono racchiuse nell'indipendenza dell'informazione dalla catena di comando («freed from the chain of command»<sup>16</sup>) e dalle questioni che mettono alla prova l'esistenza della stessa, ponendo le basi per il ful-

<sup>13</sup> K.C. Allard, *Somalia Operations: Lessons Learned*, Institute for National Strategic Studies, CCRP, Washington DC 1995; R. Pigeau, C. McCann, *Re-conceptualizing Command and Control*, «Canadian Military Journal», III (1), primavera 2002.

<sup>14</sup> Sul PCMR, si consigliano: R.C. Bjorklund, *Dollars and Sense of Command and Control*, National Defense University Press, Washington DC 1995; W. Perry, D. Signori, J. Boon, *A Methodology for Measuring the Quality of Information and Its Impact on Shared Awareness*, RAND Corporation, Santa Monica 2004; "HEAT" User's Manual, cit.

<sup>15</sup> <<https://www.fbo.gov/index?s=opportunity&mode=form&tab=core&id=06d48939ddc7197e3d1f25ea0099544c>> (09/2016).

<sup>16</sup> D.S. Alberts, *The Unintended Consequences of Information Age Technologies*, CCRP, Washington DC 1996, pp. 15-20 e pp. 33-40.

cro della NCW: l'auto-sincronizzazione<sup>17</sup>. Il cambiamento rispecchia e la presenza di più *decision makers* nel campo di battaglia e la difficoltà di personalizzare il comando in operazioni complesse, svuotando il contenuto delle funzioni C2 come evolutosi sinora in dottrina.

Il termine NEC (*Network Centric Capability*) pone l'attenzione sulla necessità di esplorare sia l'infrastruttura che supporta le attività militari o di *intelligence*, rendendo possibile quell'espletamento delle capacità net-centriche, dove lo spazio gioca un ruolo determinante, sia i nuovi approcci collegati alle funzioni C2 che si interrogano sul livello di SA richiesta per rendere possibile e l'auto-sincronizzazione e la riuscita delle operazioni attraverso quel potere ai margini (*Power to the Edge*<sup>18</sup>) che spiega l'interazione dell'organizzazione nell'ambiente, «the “magic” that connects the links in Network-Centric Value Chain»<sup>19</sup>. L'emergere di una funzione C2 collettiva e di una nuova teoria della stessa dimostra come non sia possibile avere una soluzione unica, la migliore possibile, in una determinata situazione, a maggior ragione di fronte alla collettività della decisione. Per riprendere John Boyd, le funzioni di C2 sembrano dare quel risalto alle infrastrutture nella speranza che possano essere la luce nella nebbia del campo di battaglia attraverso un adeguato processo dei flussi di informazione, allo stesso modo in cui i sistemi informatici allontanano gli spettri dell'entropia, la misura del 'disordine' presente in ogni sistema fisico. Così, a proposito dello sforzo dell'esercito statunitense di rendere compatibili tutti i suoi sistemi informativi, programma *Horizon*, parlava il gen. Carl O'Berry:

[Il programma *Horizon*] porta principi di ordine in qualcosa che sinora è stata atmosfera dell'entropia. Per la prima volta abbiamo portato l'interoperabilità nel dominio delle scienze invece che delle emozioni. È un tentativo di eliminare l'incertezza dall'architettura dei sistemi C4I [Command, Control, Communications, Computers, Intelligence]<sup>20</sup>.

L'integrazione delle forze armate e dei sistemi d'arma in una struttura resa coerente e solida dalle infrastrutture ICT incanala la funzione del controllo verso la sua naturale centralizzazione, rafforzata dall'aumento della specializzazione del personale militare, dalla dualità civile-

<sup>17</sup> D.S. Alberts, J.J. Gartska, F.P. Stein, *Network Centric Warfare: Developing and Leveraging Information Superiority*, CCRP, Washington DC 1999, pp. 87-114; Alberts, et al., *Understanding Information Age Warfare*, cit.

<sup>18</sup> D.S. Alberts, R.E. Hayes, *Power to the Edge: Command...Control...in the Information Age*, CCRP, Washington DC 2003.

<sup>19</sup> Alberts, Huber, Moffat, *NATO NEC C2 Maturity Model*, cit., p. 22.

<sup>20</sup> J. Arquilla, D. Ronfeldt, *Information Power and Grand Strategy: In Athena's Camp*, in J.D.S. Schwartzstein (a cura di), *The Information Revolution and National Security*, The Center for Strategic and International Studies, Washington DC 1996, p. 146.

militare nella gestione delle crisi, dall'importanza della logistica e delle linee di comunicazione, la cui struttura è favorita da necessità pratiche, non attuali, di volume e dimensioni dei computer. Inoltre, come ben rammenta Van Creveld, la domanda di informazioni cresce esponenzialmente con la crescita del numero di specializzazioni, considerata la crescita di queste in maniera geometrica alla necessità di coordinare la riuscita di un gruppo o di un soggetto con gli altri componenti<sup>21</sup>. A questo vanno aggiunte specificità politiche e tecniche riguardo lo sviluppo delle funzioni centralizzate di comando e controllo nella gestione di armamenti dagli effetti rapidi e altamente distruttivi come armi atomiche o missili intercontinentali a lunga gittata, mentre l'aumento della velocità e delle quote raggiunte dai velivoli ha reso ora i sistemi d'arma terrestri parzialmente obsoleti. Ecco la chiusura del cerchio del comando: il calcolo dell'orbita necessaria per raggiungere un determinato target e il tracciamento successivo dell'arma (*output*) da parte del radar (*sensore*) produce una serie di dati agevolmente (non per volumi elevati) gestibili in maniera remota e computerizzata (*processore*)<sup>22</sup>. Allo stesso modo, lo sviluppo del motore a reazione e la necessità di una rapida difesa aerea hanno accorciato notevolmente i tempi necessari all'azione e alla decisione, rendendo inadeguate le strutture del comando, riguardo alla percezione, ad esempio, che un aereo con armamenti atomici non opportunamente intercettato per tempo avrebbe conseguenze catastrofiche<sup>23</sup>. La comunicazione su scala globale garantita dalla messa in orbita di satelliti artificiali ha rappresentato il crocevia verso un'architettura di controllo globale (GCCS, *Global Command and Control System*)<sup>24</sup>, rafforzata dalla rete satellitare per la localizzazione. Flussi di dati e flussi di comando vedono nel fattore spaziale una necessaria infrastruttura, un'autostrada, la cui rilevanza non può che aumentare di pari passo con la tecnologia del settore, fermo restando il predominio della strategia e, ancor prima, della politica sulla componente tecnologica. La struttura cibernetica C2 si lega alla gestione della minaccia (T, *threat*) registrata dal sistema di *early warning* (Ea.W.) e indica il sistema d'arma da utilizzare eventualmente (W, *weapon*) nell'immediata comprensione del *Command and Control Loop* proposto da James Constant nel suo *Fundamentals of Strategic Weapons*, dove il flusso di informazioni

<sup>21</sup> M. van Creveld, *Command in War*, Harvard University Press, Cambridge 2003, p. 235.

<sup>22</sup> A. Bousquet, *The Scientific Way of Warfare. Order and Chaos in the Battlefields of Modernity*, Columbia University Press, New York 2009, p. 131.

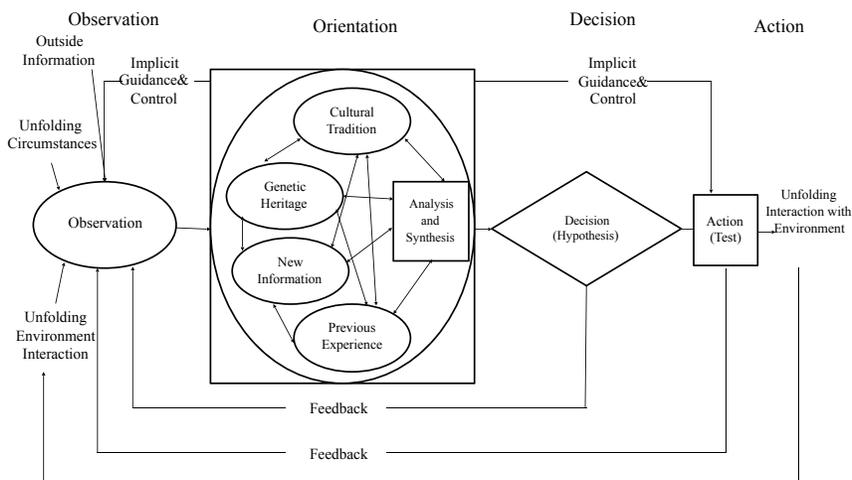
<sup>23</sup> *Ibidem*.

<sup>24</sup> Cfr. parte relativa al *Global Command and Control System – Joint* del FY2014 DoD Programs reperibile al seguente indirizzo: <<http://www.globalsecurity.org/military/library/budget/fy2014/dot-e/dod/2014gccsj.pdf>> (12/2016).

viene trasmesso e ri-trasmesso tramite sistema di comunicazione (C). Lo stesso Constant osserva come, in realtà, il processo rappresenti un sistema di controllo delle operazioni, della loro gestione e della capacità di risposta (*servomeccanismo*)<sup>25</sup>. Il richiamo a John Boyd<sup>26</sup>, come figura cruciale della comprensione del processo C2, porta a riconsiderare la visione sin troppo semplicistica, che si è data dell'*OODA Loop*, di una teoria del processo decisionale adatta a tutte le dimensioni strategiche, dal pilota al centro di comando: «il processo di osservazione-orientamento-decisione-azione rappresenta ciò che trova spazio durante il processo di comando e controllo – in altri termini l'*OODA Loop* può essere pensato come rappresentazione dell'essenza del ciclo di comando e controllo»<sup>27</sup>.

Sebbene possa aver la meglio l'impressione di una sequenzialità delle fasi del processo illustrato, questo, al di là delle apparenze per facilità espositive, mantiene la propria caratteristica di ciclicità nell'attività simultanee di tutti gli elementi del *loop*.

Figura 5.1 – Riconfigurazione OODA Loop<sup>28</sup>.



<sup>25</sup> J. Constant, *Fundamentals of Strategic Weapons: Offense and Defense Systems*, Martinus Nijhoff, L'Aia 1981, p. 390.

<sup>26</sup> Le difficoltà in dottrina di considerare a pieno Boyd nascono anche dalla sua non eccessiva proliferazione, non avendo mai infatti egli pubblicato un testo chiave di studi strategici, ma essendosi limitati ai pur numerosi articoli e presentazioni sul tema.

<sup>27</sup> J.R. Boyd, *Organic Design for Command and Control*, presentazione maggio 1987, <<http://www.ausairpower.net/JRB/c&c.pdf>> (09/2016).

<sup>28</sup> Basato su J.R. Boyd, *The Essence of Winning and Losing*, presentazione gennaio 1996, <<http://dnipogo.org/john-r-boyd/>> (09/2016).

La difficoltà della fase di osservazione (*Observation*) si manifesta nella presenza di due differenti processi: l'analisi (*Analysis*), intesa come comprensione delle osservazioni nel contesto dei pre-esistenti modelli di conoscenza, e la sintesi (*Synthesis*), ovvero la creazione di nuovi modelli di conoscenza quando i modelli esistenti non permettono una comprensione sufficiente ad affrontare le nuove circostanze<sup>29</sup>. Le strutture interne, in quanto tali, sono inevitabilmente soggette all'entropia: in maniera non proporzionalmente diretta aumentano le difficoltà di applicazione tra il modello e i cambiamenti dell'ambiente esterno. L'entropia della seconda legge della termodinamica come 'misura' del disordine contiene in sé il potenziale per compiere una determinata azione (vd. concetto di *agility*): un processo continuo di distruzione e creazione che rispecchia anche la possibilità di abbandonare un modello per affidarsi a un altro, o piuttosto (come si vedrà in seguito) l'opportunità di sviluppo di nuovi concetti della strategia e il rinnovamento delle qualità determinanti dal livello più basso del soldato semplice all'intera organizzazione.

Tale tentativo di comprensione delle operazioni militari come sistema che risponde a regole formalizzate, chiuso in un procedimento analitico, è un primo sforzo per indirizzare alla logica e al mondo della matematica avvenimenti estremamente complessi come il fenomeno bellico. Dall'arte del Comando e Controllo si è passati con troppo rigore a un metodo scientifico, di cui la componente spaziale e le tecnologie informatiche sono state sia il traino sia lo strumento necessario, il *medium*, affinché la strategia trovasse un risvolto tattico-operativo globale.

## 5.2 «Share to Win»: C2 nell'ambito della NNEC

La NATO ha considerato il concetto della NEC cruciale per la conduzione delle operazioni dei moderni conflitti, quanto meno a partire dalle settimane antecedenti al Summit di Praga (novembre 2002)<sup>30</sup>. In particolare, il vantaggio strategico informativo è il risultato di una robusta rete (*network*) con una serie di entità partecipanti e connesse tra loro. Le possibilità di miglioramento di tale vantaggio derivano dalla capacità e dalla volontà di condivisione delle informazioni (e di collaborazione) in un dominio cognitivo comune, aumentando, così, e l'*awareness* e la comprensione individuale e collettiva degli avvenimenti. Capacità di risposta e tempistica delle funzioni C2 nel rendere operativi i comandi costituiscono la base essenziale delle capacità NEC al fine di ottenere un

<sup>29</sup> *Ibidem*.

<sup>30</sup> <<http://www.nato.int/docu/rdr-gde-prg/rdr-gde-prg-eng.pdf>> (09/2016).

miglioramento dell'efficienza, un drastico aumento dell'interoperabilità tra nazioni, la messa in sicurezza e la crescita del volume delle informazioni, una migliore qualità delle informazioni e decisioni più rapide grazie alla velocità di comando<sup>31</sup>.

### 5.2.1 NATO NEC C2 Maturity Model (N2C2M2)

Il raggiungimento degli obiettivi sopra elencati implica un cambiamento nell'interpretazione delle funzioni C2, almeno secondo quanto riportato in uno studio condotto da David Laberts, Reiner K. Huger e James Moffat, nei seguenti punti<sup>32</sup>: a) *attribuzione del diritto di decidere per la collettività*: in un contesto complesso come quello rappresentato da un insieme di entità in una situazione di conflitto (*complex endeavour*), l'attribuzione di tale diritto può essere regolata implicitamente o esplicitamente da regole, regolamenti, norme o pratiche figlie dell'emergenza dell'azione, previa concessione totale o parziale da parte delle entità delle proprie facoltà decisionali a favore della riuscita dell'intera azione; b) *modelli di interazione tra le entità partecipanti*: come funzione della rispettiva capacità e volontà di interazione e della possibilità dell'effettivo verificarsi dell'interazione, tale caratteristica viene attuata dall'opportunità di avere, *de visu* o in maniera virtuale, trasmissioni delle informazioni, aumentando la rilevanza dalla qualità delle infrastrutture (MILSATCOM, o satelliti LEO per *Tactical IP*<sup>33</sup>) e dal grado di interoperabilità tra i partecipanti (tecnico, semantico e operativo); c) *distribuzione delle informazioni tra le entità/gruppi partecipanti*: l'importanza della scelta dell'informazione da condividere per raggiungere un determinato obiettivo è il fulcro della distribuzione delle informazioni.

Il modo in cui vengono distribuite e allocate le informazioni influenza le interazioni che prendono corpo da parte di una, tra due o più entità, i partecipanti a queste, la loro frequenza e la loro natura. La volontà di interazione dei partecipanti, assunta a variabile dipendente dell'approccio considerato, risulta determinante sia intesa come realizzazione delle azioni necessarie per espletare le funzioni di Comando e Controllo sia come possibilità di collaborazione a tali azioni, comportandosi a seconda dei casi in base all'approccio proprio della situazione specifica. In tali considerazioni sono da inquadrarsi le cinque classi C2 nei paragrafi di seguito<sup>34</sup>.

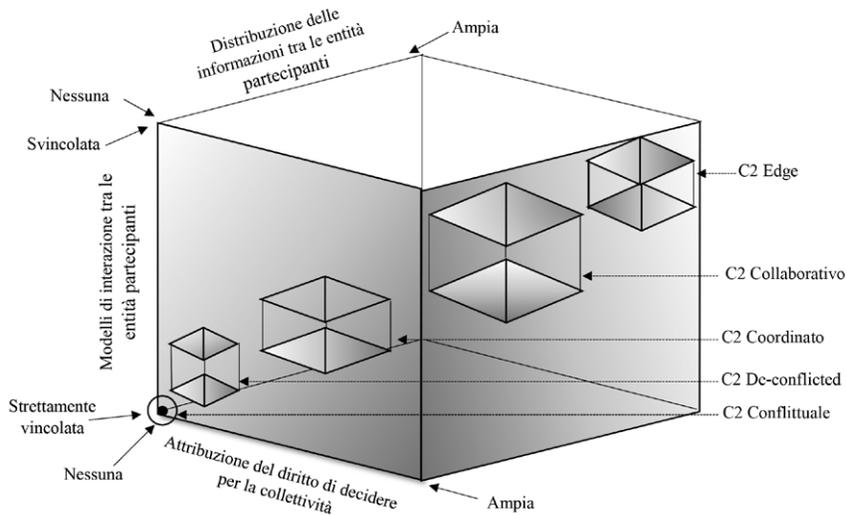
<sup>31</sup> <[http://www.nato.int/cps/en/natohq/topics\\_54644.htm](http://www.nato.int/cps/en/natohq/topics_54644.htm)> (09/2016).

<sup>32</sup> Alberts, Huber, Moffat, *NATO NEC C2 Maturity Model*, cit., pp. 48-49.

<sup>33</sup> M.S. Vassiliou, D.S. Alberts, *Megatrends Reshaping C2 and their Implications for Science and Technology Priorities*, 17<sup>th</sup> ICCRTS Conference 'Operationalizing C2 Agility', Fairfax, 19-21 giugno 2012.

<sup>34</sup> Ivi, pp. 52 ss.

Figura 5.2 – C2 Approach Space della teoria di Alberts.



### *C2 Conflittuale*

L'assenza di obiettivi collettivi e contributi singoli per scopi limitati sono le caratteristiche di tale approccio. Non vi è alcuna distribuzione delle informazioni tra una o più entità e la presenza di interazioni individuali all'interno di un singolo gruppo mostra come non vi sia nessuna connessione persino tra individui delle singole entità sino all'estrema conseguenza della formazione di piccoli sciami di individui separati.

### *C2 De-conflicted*<sup>35</sup>

Lo scopo di tale approccio è evitare incroci e interazioni negative della suddivisione spaziale del problema da affrontare. Risolvere senza conflitti (*to de-conflict*) gli intenti, i piani o le azioni vuol dire riconoscere le potenziali fonti di conflitto e tentare una risoluzione attraverso divisioni per funzioni logistiche o temporali dell'azione con limitata informazione condivisa e altrettanto limitata interazione. Privarsi del proprio diritto di decisione è la condizione necessaria per assicurare interazioni *de-conflicted*, tipica delle forze armate del periodo della Guerra fredda o dei gruppi terroristici 'classici' (es. Eta)<sup>36</sup>, mentre gli stessi partecipanti concordano nel non agire diversamente da come concordato, forma massima del diritto di decisione collettiva, fermo restando i limiti di scambio di informazioni.

<sup>35</sup> Alberts, Huber, Moffat, *NATO NEC C2 Maturity Model*, cit., p. 52. Nella difficoltà, anche per motivi cacofonici oltre al timore di non riuscire a rendere in maniera adeguata il termine inglese *de-conflict*, si è preferito lasciare l'originale.

<sup>36</sup> Alberts, Hayes, *Understanding Command and Control*, cit., p. 78.

Il modello *C2 De-conflicted* richiede minime e episodiche interazioni tra due o più individui di gruppi diversi, ognuno partecipante alle interazioni collettive.

#### *C2 Coordinato*<sup>37</sup>

La priorità del raggiungimento del risultato, ovvero l'efficienza, si ottiene qui attraverso lo sviluppo di relazioni e legami tra entità per rafforzare gli effetti, la condivisione di aspetti esogeni (*non-organic resources*), quali la logistica e l'ISTAR, al fine di migliorare la qualità delle informazioni. Il coordinamento presuppone un certo grado di scelte condivise. Una grande quantità di informazioni e di interazioni, sia formali che informali, è l'aggregante necessario per una corretta pianificazione, mentre la stessa è vincolata dalla condivisione degli intenti. La delega della decisione da prendere è associata, così, al processo di coordinamento e al miglioramento degli stessi vincoli che vengono fuori da questo. Più decisioni collettive sono il frutto delle necessarie interazioni, del volume e delle frequenza delle informazioni condivise (si spiega in questo modo la collocazione nella figura a breve distanza dalla dimensione dell'allocazione del diritto di decisione). Un esempio di infrastruttura più o meno coordinata si può ritrovare nelle forze israeliane durante la battaglia di Nablus (2002) allorché, dovendo affrontare una serie di avversari differenti, tra i quali Hamas, il gruppo della Jihad Islamica Palestinese, le forze di sicurezza dell'Autorità Palestinese e le rappresaglie urbane, si decise di dare un certo grado di autonomia ai comandanti sul campo, oltre a coordinare le azioni in maniera quasi auto-sincronizzata. Le piccole unità furono messe in grado di scambiare informazioni sia in maniera orizzontale che verticale rafforzando la decentralizzazione del comando<sup>38</sup>. Nel *C2 Coordinato* alcuni piccoli gruppi emergono come unità in cui due o più partecipanti collaborano a progetti o compiti comuni. Il numero dei legami e delle interazioni collettive all'interno dei singoli gruppi è ancora limitato, seppur compia i primi passi per una maggiore frequenza e continuità rispetto ai casi precedenti.

#### *C2 Collaborativo*<sup>39</sup>

Lo sviluppo di significanti sinergie attraverso la negoziazione, la scelta di intenti e dei piani collettivi, stabilendo e riconfigurando ruoli, pianificando azioni e condividendo risorse esterne e interne, come armi o vei-

<sup>37</sup> Ivi, p. 54.

<sup>38</sup> Cfr. M.S. Vassiliou, *The Evolution Towards Decentralized C2*, 15<sup>th</sup> International Command and Control Research and Technology Symposium (ICCRTS), Santa Monica, 22-24 giugno 2010; sulla battaglia di Nablus, invece, si consiglia: S.J. Jones, *Fighting Networked Terrorist Groups: Lessons from Israel*, «Studies in Conflict & Terrorism», XXX, 2007, pp. 281-302.

<sup>39</sup> Ivi, p. 57.

coli (*organic resources*), incrementa considerevolmente la SA. Tale approccio implica, ad un livello più alto che un semplice intento comune, un singolo piano condiviso. Quand'anche dovesse emergere la presenza di intenti individuali o appartenenti ai singoli gruppi, questi verrebbero subordinati al più importante comune intento. Il raggiungimento dell'interdipendenza è la conseguenza delle continue interazioni tra entità individuali e gruppi sia in ambito cognitivo che informativo. Il *C2 Collaborativo* implica che la necessaria delega delle capacità decisionali ritorni nelle mani delle singole entità, in modo che queste possano prendere decisioni collettive collaborando e accettando significativi limiti nello svolgimento delle operazioni. La regione all'interno della figura delineata risiede tra la piena distribuzione delle informazioni e delle interazioni e possiede un margine quasi minimo per l'attribuzione del diritto di decidere per la collettività. Piccoli gruppi con entità che svolgono compiti in progetti condivisi acquisiscono maggiore importanza e il volume, il numero e la frequenza continua di interazioni e all'interno di questi e tra i gruppi o le singole entità aumentano considerevolmente il livello di interconnessione. L'esperienza del conflitto tra le forze armate israeliane e Hezbollah è indicativa di come durante un scontro *media res* tra guerra convenzionale e conflitto asimmetrico, la cosiddetta guerra 'ibrida', di cui si parla ora per i confronti bellici in Ucraina<sup>40</sup>, la seconda sia riuscita a tener testa alle operazioni aeree israeliane<sup>41</sup>, accostando comando gerarchico e esecuzione decentralizzata con un certo livello di capacità tecnologica (cavi di rete fissa e segnali radio criptati<sup>42</sup>) e un uso accurato della propaganda e dei media di massa<sup>43</sup>.

### *C2 Edge*<sup>44</sup>

La realizzazione dell'auto-sincronizzazione è il principale risultato di tale approccio. Essa richiede una ricca e condivisa comprensione degli elementi che contribuiscono alla formazione del quadro di insieme: una rete solida e collettiva tra le entità con diffuso e semplificato accesso alle informazioni, larghe condivisioni, ricche e continue interazioni e am-

<sup>40</sup> Cfr. *Hybrid war- hybrid response?*, «NATO Review», video caricato il 3 luglio 2014, <<http://www.nato.int/docu/review/2014/russia-ukraine-nato-crisis/Russia-Ukraine-crisis-war/EN/index.htm>> (09/2016).

<sup>41</sup> L.R. Jordan, *Hybrid War: Is the U.S. Army Ready for the Face of 21st Century Warfare?*, Fort Leavenworth, U.S. Army Command and General Staff College, 2008.

<sup>42</sup> S. Biddle, J.A. Friedman, *The 2006 Lebanon Campaign and the Future of Warfare: Implications for Army and Defense Policy*, U.S. Army War College, Strategic Studies Institute, Carlisle 2008.

<sup>43</sup> A. Cordsman, *Preliminary "Lessons" of the Israeli-Hezbollah War*, Center for Strategic and International Studies, Washington, DC 2006; K.S. Rourke, *U.S. Counterinsurgency Doctrine: Is it Adequate to Defeat Hezbollah as a Threat Model of Future Insurgencies?*, U.S. Army Command and General Staff College, Fort Leavenworth, KA 2009.

<sup>44</sup> Ivi, p. 60.

pia distribuzione del diritto di decisione (auto-organizzazione). Le entità adottano un determinato comportamento a seconda delle circostanze e delle decisioni da affrontare, caratterizzando così la propria indipendenza decisionale, anche se all'apparenza le decisioni dovessero sembrare ancora provenire da poche unità. L'ampia diffusione delle informazioni si lega in maniera forte alle decisioni da prendere, anche in situazioni di crisi o emergenza. Nel caso dell'approccio *C2 Edge* i gruppi e le entità che collaborano a progetti o compiti condivisi dominano l'intera scena in maniera dinamica, evolvendosi a seconda della situazione e in risposta ai cambiamenti del conflitto o dell'ambiente in generale.

*Uso singolo o combinato degli approcci*

Avere la possibilità di applicare più approcci di quelli menzionati per adempiere alle funzioni associate al Comando e al Controllo è la condizione operativa ideale: più ampia è la possibilità di scelta, migliore è la capacità di risposta per affrontare le situazioni caso per caso. Il modello appena visto, denominato *NATO NEC C2 Maturity Model (N2C2M2)*, assegna a cinque livelli di 'maturità' (dal livello 1 al livello 5) i corrispondenti approcci a seconda della capacità di impiego multiplo (ad esempio, il livello 1 prevedrà solamente l'impiego di *C2 Conflittuale* senza alcuna collaborazione tra le parti). Solamente l'ultimo livello, il livello 5 garantisce il raggiungimento dell'auto-sincronizzazione necessaria per far fronte a situazioni di crisi o di conflitto complesse sia di natura asimmetrica, simmetrica, o ibrida<sup>45</sup>.

Figura 5.3 – N2C2M2.

	<i>C2 Conflittuale</i>	<i>C2 De-conflicted</i>	<i>C2 Coordinato</i>	<i>C2 Collaborativo</i>	<i>C2 Edge</i>
5					
4					
3					
2					
1					

<sup>45</sup> Ivi, p. 79.

Il riconoscimento e la consapevolezza dell'approccio migliore da seguire sono legati strettamente alla scelta dei relativi strumenti di C2 per rispondere in maniera appropriata alla situazione che si affronta: così in situazioni semplici, per quanto semplici si possano definire situazioni di conflitto, complicate (caratterizzate da un largo numero di elementi più o meno identificati e prevedibili) o complesse (largo numero di elementi parzialmente o per nulla definiti e interazioni con esiti altamente incerti)<sup>46</sup>. La scelta dipende nondimeno dalla dinamica degli eventi, dagli obiettivi, dall'ambiente delle operazioni e dal tempo, fattori i quali aumentano considerevolmente la complessità generale. Un approccio *C2 De-conflicted* potrebbe essere un'opzione adeguata se si affronta un contesto particolarmente frammentario e senza possibili impatti incrociati, mentre il *C2 Coordinato* mostra la sua adeguatezza in situazioni altamente o completamente scomponibili e frammentarie e i suoi limiti nel fattore tempo per la gestione di più fronti o azioni trasversali, anche su piccola scala, superabili con l'approccio *Collaborativo*. *C2 Edge* è il paradigma di situazioni altamente dinamiche, ossia instabili, complesse e imprevedibili, di attrito e incertezza. In tal senso, complessità, instabilità e incertezza sono variabili interdipendenti a loro volta misurabili secondo i parametri della natura o degli obiettivi delle operazioni (*combat, peace-keeping* ecc.), natura dell'avversario, stabilità dell'ambiente operativo, trasparenza e familiarità con tale ambiente, infrastrutture, chiarezza, unità di intenti, pianificazione strategica e gli effetti cosiddetti PMESII (*Political, Military, Economic, Social, Infrastructure, Information*).

### 5.3 NATO NEC over SATCOM (IST-113)<sup>47</sup> e Tactical IP

La richiesta e la necessità di avere infrastrutture adeguate alla complessità dei moderni conflitti, in grado cioè di mantenere un certo grado di possibilità di reperire, quasi in tempo reale, e trasmettere informazioni, ha spostato l'attenzione degli Stati militarmente più avanzati, e quelli in ambito NATO, verso l'uso di servizi di comunicazione satellitare per situazioni tattico-operative. Le necessità strategiche di integrazio-

<sup>46</sup> *Ibidem*.

<sup>47</sup> Nella scrittura dell'attuale paragrafo sono state riportate alcune considerazioni nate da una verifica delle ipotesi dell'autore con l'ing. Giuseppe Tomasicchio della Thales Alenia Spazio, che si occupa del progetto, conclusosi il 31 dicembre 2015 con relativo report del settembre 2016 <<https://www.sto.nato.int/publications/STO%20Technical%20Reports/Forms/Technical%20Report%20Document%20Set/docsethhomepage.aspx?ID=3895&FolderCTID=0x0120D5200078F9E87043356C409A0D30823AFA16F6010066D541ED10A62C40B2AB0FE841A61&List=92d5819c-e6ec-4241-aa4e-57bf918681b1&RootFolder=https://www.sto.nato.int/publications/STO%20Technical%20Reports/STO-TR-IST-113>> (12/2016).

ne, interoperabilità e velocità di risposta hanno trovato dapprima spunto nell'esperimento *TacSat* negli Stati Uniti<sup>48</sup> e nei recenti sviluppi della strumenti di tecnologia portatile per le forze armate (es. Selex Sistemi Integrati, *TacSat Razor Antenna*<sup>49</sup>), e richiedono oggi sempre di più un impiego che possa aumentare integrazione e miniaturizzazione. Le reti delle precedenti e attuali strutture SATCOM caratterizzate di solito da topologia di rete a stella (*star*) o *mesh* (nella prima il satellite ha un mero ruolo di smistamento dati, nell'altra ha connessione diretta, punto per punto, con i nodi, unità remote<sup>50</sup>) con accesso DAMA (*Demand Assignment Multiple Access*), tipico dei sistemi VSAT (*Very Small Aperture Terminal*)<sup>51</sup>, provvede di volta in volta alla connessione e ai servizi IP. Tale tipo di accesso assegna il canale, generalmente in due frequenze, di cui una per la ricezione e una per la trasmissione, per il *transponder* al primo arrivo, al fine di dare priorità alla trasmissione dati, non richiedendo così una continua connessione alla rete del sistema<sup>52</sup>. Per garantire l'infrastruttura della NNEC attraverso gli assetti spaziali diviene necessario potenziare la banda di frequenza, la condivisione in IPv6<sup>53</sup> e i nodi di commutazione<sup>54</sup>. La banda di frequenza, come subordinazione delle necessità strategiche e operative (es. rete tattiche dispiegabili, *Tactical Wide Area Network* o dispositivi mobili) alle possibilità tecnologiche, ha tra le sue diramazioni l'impossibilità di scelta della banda di frequenza, che, a seconda delle disponibilità tecnologiche, rischia di non avere alcuna differenza, ad esempio, tra un canale satellitare o una comunicazione in

<sup>48</sup> <<http://www.astronautix.com/craft/tacsat.htm>> (09/2016).

<sup>49</sup> La Selex – es è stata individuata dall'Amministrazione Difesa italiana come controparte industriale allo sviluppo degli strumenti per la forza NEC, *Il Ministero della Difesa e SELEX Sistemi Integrati hanno firmato il contratto Forza NEC*, comunicato stampa del Ministero della Difesa, 9 giugno 2010, <[http://www.difesa.it/SGD-DNA/Segretario/Comunicati/Pagine/Il\\_Ministero\\_della\\_Difesa\\_e\\_SELEX\\_Si\\_3463NEC.aspx](http://www.difesa.it/SGD-DNA/Segretario/Comunicati/Pagine/Il_Ministero_della_Difesa_e_SELEX_Si_3463NEC.aspx)> (09/2016).

<sup>50</sup> <<http://www.idirect.net/Company/Resource-Center/Satellite-Basics/VSAT-Network.aspx>> (09/2016).

<sup>51</sup> Frequente il suo utilizzo per le televisioni satellitari, vd. <<http://www.vsat-systems.com/>> (09/2016).

<sup>52</sup> Altri esempi di utilizzo della connessione DAMA sono il POS o le reti marittime. Si contrappone a tale sistema, la rete PAMA (*Permanently Assigned Multiple Access*), preferito per gli usi con maggiore frequenza. Si veda, P.M. Feldan, *An Overview and Comparison of Demand Assignment Multiple Access (DAMA) Concepts for Satellite Communications Networks*, RAND Corporation, Santa Monica 1996.

<sup>53</sup> IPv6 è la versione dell'*Internet Protocol* successore dell'IPv4 (tra le sue caratteristiche l'aumento dello spazio per l'indirizzamento, per usare un paragone facilmente reperibile sulla rete, si è passati dalla grandezza del DNA a quella della Via Lattea). Cfr. <<http://ipv6.com/articles/military-and-IPv6.htm>> (09/2016).

<sup>54</sup> Vd. P. Finocchio, *Network Centric Operations: The Role of Satellite Communications*, in E. Re, M. Ruggeri, *Satellite Communications and Navigation Systems*, Springer, New York 2008, cap. 1, pp. 3-18.

fibra ottica. Avere, poi, un'unica interfaccia per la gestione di dati, per la comunicazione e lo scambio di informazioni (flussi di dati sensore o flussi di comando) favorisce l'interoperabilità e le operazioni in campo multinazionale. Rientra qui anche lo sviluppo di nuovi *software* per tecnologie sicure e adeguate per le comunicazioni vocali tramite IP. I nodi di commutazione (*switching nodes*<sup>55</sup>) sono i nodi che trasmettono i segnali fino alla destinazione desiderata e devono essere in grado di adattarsi ai cambiamenti dei canali di trasmissione, ovvero di entrare nella semantica dei dati. La necessità di raggiungere una maggiore integrazione tra i dispositivi satellitari tattico-operativi e le nuove piattaforme, tra le quali UAV, velivoli di ricognizione, velivoli strategici o di attacco (es. F-35) e sistemi missilistici, tra fase di comando e fase operativa, è il punto cruciale della ricerca tecnologica e dello sforzo di estendere la capacità GIG (*Global Information Grid*)<sup>56</sup>, lo scheletro della NCW, a livello tattico-operativo, aumentando significativamente le capacità di connessione, di *reachback*<sup>57</sup> e di trasferimento dati verso il centro decisionale e insieme di mantenimento delle comunicazioni fuori della linea di accesso (BLOS, *Beyond Line of Sight*), sino a livello di ogni singolo soldato<sup>58</sup>. L'interoperabilità tra gli *assets* nazionali, la disponibilità della lunghezza di banda di frequenza per garantire le comunicazioni globali e la messa in sicurezza delle trasmissioni IP sono i naturali obiettivi per un qualsiasi sviluppo futuro di tali architetture. In tal senso, il superamento della NATO SATCOM POST2000 (NSP2K)<sup>59</sup>, che consentiva alla NATO di poter utilizzare, per le frequenze SHF e UHF (ma non EHF, a disposizione di Stati Uniti e Francia, con le quali l'Organizzazione Atlantica non è riuscita a trovare un accordo<sup>60</sup>) le reti MILSATCOM nazionali di Italia (SICRAL 1 e SICRAL 1bis), Francia (SYRACUSE 3) e Gran Bretagna (Skynet 4 e Skynet 5), grazie al *Memorandum of Understanding* del 2005 in scadenza nel 2019, le prospettive di continuare nell'uso di reti nazionali e la decisione di non possedere dispositivi satelliti propri, come ribadito da Malcolm Green, capo della *Networking Information Infrastructure Com-*

<sup>55</sup> Sulle capacità *switching* nell'ambito dei sistemi militari, cfr: <<http://www.global-security.org/space/systems/star-t.htm>> (09/2016).

<sup>56</sup> Sulla GIG vd. i seguenti indirizzi online: <<https://archive.fo/OOrLC>> (12/2016); <<http://www.dtic.mil/whs/directives/corres/pdf/800001p.pdf>> (09/2016).

<sup>57</sup> Inteso come quel processo di ottenimento di prodotti, servizi, applicazioni, forze, equipaggiamenti e materiale da organizzazioni non dispiegate. Cfr. Dizionario Militare Dipartimento della Difesa Statunitense, <[http://www.dtic.mil/doctrine/dod\\_dictionary/data/r/11141.html](http://www.dtic.mil/doctrine/dod_dictionary/data/r/11141.html)> (12/2016).

<sup>58</sup> <[https://www.cso.nato.int/ACTIVITY\\_META.asp?ACT=2225](https://www.cso.nato.int/ACTIVITY_META.asp?ACT=2225)> (09/2016).

<sup>59</sup> <[http://www.nato.int/cps/en/natohq/topics\\_50092.htm](http://www.nato.int/cps/en/natohq/topics_50092.htm)> (09/2016).

<sup>60</sup> P.B. De Selding, *Deadline Fast Approaching for NATO To Replace Satcom Capacity*, «SpaceNews», 9 dicembre 2011, <<http://spacenews.com/deadline-fast-approaching-nato-to-replace-satcom-capacity/>> (09/2016).

*munications Services* della NATO C3 Agency durante la conferenza *Global Milsatcom* del novembre 2011<sup>61</sup>, la dice lunga sulle possibilità, sulla consistenza e sulle potenzialità di garantire l'interoperabilità (anche dei *software* stessi<sup>62</sup>) di una struttura di forza NEC in ambito NATO.

Il NATO SATCOM 2020 potrebbe essere una concessione degli Stati membri da affittuari, mentre il mantenimento tecnico di una QoS (*Quality of Service*) e dei continui flussi sensori e flussi di comando pone una questione pratica sulla reale opportunità di estensione, dispendiosa anche in termini economici, della capacità GIG. Come prospettata dalla DISA (*Defense Information Systems Agency*) e dalla NSA (*National Security Agency*), quest'ultima si prefigge lo scopo di essere:

Un sistema netcentrico che opera in un contest globale per garantire il processo, l'immagazzinamento e il trasporto delle informazioni in support del Dipartimento della Difesa, della sicurezza nazionale e delle missione e funzioni – strategiche, operative, tattiche e di *business intelligence* – in periodi di guerra, di crisi e di pace<sup>63</sup>.

In prospettiva di *system of systems* è la stessa NATO (Relazione Generale NATO PA 175 STC 07 E bis) che ne suggerisce l'inevitabile legame con lo spazio e con i dispositivi satellitari, parte integrate di tale architettura e non semplicemente strumento di trasmissione:

I satelliti di prossima generazione forniranno elevate quantità di informazioni in tempo reale alle piattaforme e ai sistemi d'arma dispiegati a livello tattico. Ogni metro quadrato del globo terrestre avrà il proprio indirizzo IP, permettendo così un effettivo tracciamento di tutti gli attori sul campo di battaglia<sup>64</sup>.

Questa importanza, da un lato, evidenzia come i dispositivi satellitari possano diventare target potenziali, in special modo allo scopo di ricezione dei dati stessi (vd. cap. 4), dall'altro, rende lo spazio non più e non solo un *medium*, ma un vero e proprio ambiente operativo, componente essenziale per la gestione dei dati complessi (*Big Data*) nelle complessità dei conflitti di oggi e di quelli futuri. L'accesso vitale all'oceano delle in-

<sup>61</sup> «La NATO non entrerà nel settore della proprietà e dell'operatività dei satelliti» ha dichiarato Green, cfr. link alla nota precedente.

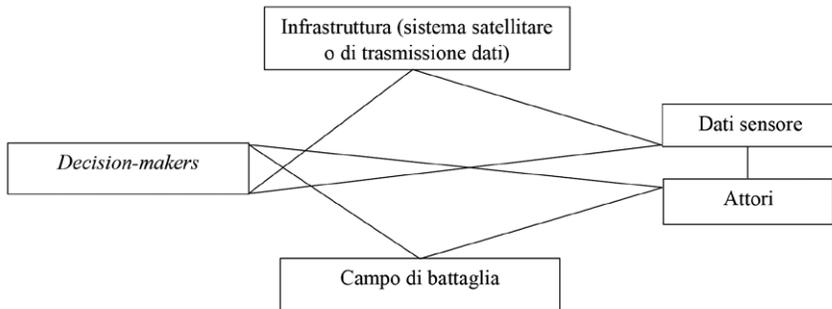
<sup>62</sup> Vd. al riguardo la scelta della Service Oriented Architecture in ambito NATO e la relazione finale del TR-IST 090 intitolata *SOA Challenges for Real-Time and Disadvantaged Grids* (aprile 2014), consultabile online all'indirizzo <[http://ftp.rta.nato.int/public//PubFullText/RTO/TR/STO-TR-IST-090//\\$\\$TR-IST-090-ALL.pdf](http://ftp.rta.nato.int/public//PubFullText/RTO/TR/STO-TR-IST-090//$$TR-IST-090-ALL.pdf)> (09/2016).

<sup>63</sup> <[https://www.nsa.gov/ia/programs/global\\_information\\_grid/index.shtml](https://www.nsa.gov/ia/programs/global_information_grid/index.shtml)> (09/2016).

<sup>64</sup> <<http://www.nato-pa.int/default.asp?SHORTCUT=1176>> (09/2016).

formazioni determinerà il corretto svolgimento delle operazioni, o meglio l'efficacia del paradigma del comando centralizzato e dell'esecuzione decentralizzata, concedendo un certo grado di flessibilità alla catena di comando (non sempre con vantaggi di velocità d'azione e prontezza di risposta) almeno sino a quando il fattore umano e la macchina saranno due elementi distinti del fenomeno bellico, e il primo mostrerà le proprie qualità di Comando e Controllo sulla seconda.

Figura 5.4 – Struttura della NNEC<sup>65</sup>.



<sup>65</sup> Adattamento della presentazione effettuata da G. Elzinga, *Communications Interoperability. Down to the Desk Level!?*, Mons, Belgio, NATO H1 C3 STAFF/CINNB, AFCEA Europe, 16 giugno 2010, <<http://www.afcea.org/europe/html/Mr.Elzinga.pps>>, 09/2016).

PARTE TERZA  
CONTRIBUTO ALLA TEORIA



## CAPITOLO 6

### EPISTEMOLOGIA DELLA COMPLESSITÀ COME CHIAVE DI ANALISI DELLA LINEARITÀ DELLA GUERRA SPAZIALE E COME TENTATIVO DI ABBATTERE L'INCERTEZZA NEL FENOMENO BELLICO SULLA TERRA DALLO SPAZIO

Si dicendo, avventò l'insanguinato /  
Marte il gran telo, e ne ferì l'orrenda/  
egida, che di Giove anco resiste / alle  
saette. Si ritrasse indietro / la Diva, e ratta  
colla man robusta/ un macigno afferrò  
[...]. Con questo / colpì l'impetuoso  
iddio nel collo, / e gli sciolse le membra.  
[...] Sorrise Pallade, e altera l'insultò:  
Demente! / che meco ardisci gareggiar,  
non vedi / quant'io t'avanzo di valor?  
[Omero, *Iliade*, lib. XXI, vv. 520-  
534, trad. di V. Monti]

Nel libro ventunesimo dell'*Iliade* la discesa degli dei nel conflitto vede tra gli altri Marte provocare disordine e caos sul campo di battaglia. A questi si contrappone Atena, dea dell'*intelligenza*, che, colpendolo con una pietra al collo, fa giacere a terra, nella polvere, il dio che ha seminato scompiglio tra le schiere achee. Così la distribuzione dell'*intelligenza*, che piove dallo spazio verso il campo di battaglia digitalizzato, mira a portare luce nell'imprevedibilità e nella nebbia della guerra. Ecco che il fenomeno bellico spaziale si scontra con il caos degli altri ambienti operativi, i cui effetti saranno i cardini di una strategia della guerra spaziale.

#### 6.1 La guerra è geometria non-euclidea

Ripresa dall'entropia accennata in Boyd, o dalla nota definizione di attrito di Clausewitz, due assiomi coinvolgono e investono il fenomeno bellico. Il primo evidenzia come la guerra si presenti sotto le vesti di un sistema complesso, una nebbia in cui è difficile se non impossibile fare luce (*complessità*). Dalla stessa prospettiva l'imprevedibilità colloca il fenomeno al limite esterno di una retta ideale che vede come opposti ordine e disordine, dove regnano caso e *caos*: «nessun genere di attività umana è così costantemente e generalmente in rapporto con il caso, come la guerra»<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> K. von Clausewitz, *Della Guerra* (ed. orig. Vom Kriege, Dümmlers Verlag, Berlin 1832), trad. di A. Bollati, E. Carnevari, Mondadori, Mondadori 1997, Libro I, cap. 1, 20, pp. 34-35.

Pericolo, incertezza e fortuna, complessità e caos, si riversano anche nell'agire umano e nell'aspetto più 'spiritualistico' di Clausewitz, lo stesso da cui nel primo capitolo sono state prese le distanze per una strategia spaziale:

Invece, la propensione al rischio, la fiducia nella fortuna, l'audacia, la temerarietà sono soltanto manifestazioni del coraggio, e tutte queste tendenze dell'anima aspirano all'incertezza dell'esito, poiché essa è il loro elemento. Vediamo dunque come, fin da principio, l'assoluto, il cosiddetto elemento matematico, non trova alcun saldo punto d'appoggio nei calcoli dell'arte di guerra; e che già fin da principio la guerra si estrinseca in un giuoco di possibilità, probabilità, fortuna e sfortuna, il quale continua in tutti i grandi e piccoli fili della sua intelaiatura [...]².

L'incertezza deriva dalle interazioni, dall'attrito e dal caso, i tre elementi della triade caratterizzante il fenomeno bellico come imprevedibile, quasi a ricordare la triade del pensiero clausewitziano dei fattori razionali (basati sul calcolo costo-benefici), a-razionali (indipendenti da ogni logica) e irrazionali (contrari a ogni logica) dal sapore hegeliano o la triade aristotelica *logos*, *ethos* e *pathos*³. L'esclusione del calcolo matematico, quando ricercato, per le previsioni in ambito militare o strategico, e le difficoltà di quantificare variabili con stime numeriche centrano il problema dell'eventualità di trattare con metodo 'cartesiano' e scientificità tali questioni, considerando le notevoli possibilità di errore.

[...] persino nel più sofisticato, sebbene implicito, sforzo di fare delle stime materiali sul potere militare, molti presupposti sono artificiali e suscettibili, quindi, di essere considerati come errori. L'esito di un calcolo militare in una particolare situazione contingente potrebbe essere piuttosto differente dalle previsioni effettuate con i metodi correnti⁴.

L'analisi sin qui effettuata di una strategia dell'ambiente spaziale come ambiente operativo pone le basi per un confronto olistico su tali tematiche, che tenga cioè presente allo stesso tempo lo spazio e il suo collegamento con gli altri ambienti, le parti e il tutto. Un ambiente, quello dello spazio extra-atmosferico, dove la presenza diretta dell'uomo ridotta all'estremo, da un lato, restringe di pari passo la presenza dei fattori morali, fattore di incertezza del fenomeno bellico, e, dall'altro, per le peculiarità fisiche

² Ivi, Libro I, cap. 1, 21, p. 35.

³ C. Jean, *Manuale di Studi Strategici*, FrancoAngeli, Milano 2004, p. 25.

⁴ Così Andrew W. Marshall, direttore dell'*Office of Net Assessment* del Dipartimento della Difesa statunitense, in A.W. Marshall, *Problem of Estimating Military Power*, RAND Corporation, Santa Monica, agosto 1966, p. 6.

che lo caratterizzano (vd. capp. 1 e 2), dona quell'afflato di indipendenza alla strategia di una guerra spaziale che ne qualifica l'esistenza stessa.

Attrito, caos e complessità destabilizzano il sistema anche nei fenomeni naturali, oscurandone o alterandone la comprensione e i risultati attesi, stando a determinate condizioni iniziali, a causa di un leggero cambiamento di quest'ultime, quanto minimo sia: un batter d'ali di una farfalla in Brasile può causare un tornado in Texas. È la cosiddetta 'teoria del caos', nata dallo studio di sistemi caratterizzati da risultati positivi e processi non lineari, dalla meteorologia alla chimica, dalla dinamica allo studio delle popolazioni biologiche. L'uso di modelli matematici non lineari (in cui almeno un elemento non è esprimibile attraverso un'equazione lineare) è il filo di Arianna che unisce la complessità dei modelli di analisi e dei risultati ottenuti in maniera non proporzionale agli elementi iniziali, avvicinando per certi versi il fatto matematico alla realtà, alla comprensione numerica della realtà, come osservato da Ian Stewart:

La matematica classica si è concentrata sulle equazioni lineari per una ragione piuttosto pragmatica: la soluzione non potrebbe essere altrimenti [...] così pacifica è la soluzione delle equazioni lineari che la matematica classica era disposta a sacrificare lo studio della fisica per tale causa<sup>5</sup>.

La realtà, la natura, è non lineare; in altri termini la verità è curva, per richiamare Nietzsche<sup>6</sup>. La matematica non lineare si risolve tra la fissazione di un equilibrio e la determinazione numerica della non linearità stessa, anche attraverso un intervallo di oscillazioni del risultato tra due punti differenti, pur non riuscendo talvolta a esaminare la logica (qualora si avesse la capacità di trovarne una) sottostante al risultato. La forza della non linearità sta appunto nella comprensione di comportamenti casuali che modelli deterministici spiegherebbero come oscillazioni irregolari, 'disturbi' ('rumori'), rispetto agli elementi considerati<sup>7</sup>.

Il tentativo di dare seguito a una teoria sposta anche la visione dei fenomeni stessi, i quali non andrebbero considerati più il frutto di irregolarità, ma esiti di leggi non strettamente deterministiche, non casuali, ma probabilistiche. Il disordine è una proprietà interna dell'ordine. I frattali di Mandelbrot (oggetti che si ripetono nella stessa forma su scale diverse), dove la figura può essere osservata nell'insieme del sistema o nel dettaglio mostrando lo stesso grado di complessità (*autosomiglianza*),

<sup>5</sup> A.D. Beyerchen, *Clausewitz, Nonlinearity and the Unpredictable of War*, «International Security», XVII (3), inverno 1992, p. 63.

<sup>6</sup> «“Tutto ciò che è dritto mente!” borbottò sprezzante il nano. “Ogni verità è curva, il tempo stesso è un cerchio”». F. Nietzsche, *Così parlò Zarathustra*, Giunti, Firenze 2006, p. 185.

<sup>7</sup> A. Bousquet, *The Scientific Way of Warfare. Order and Chaos on the Battlefields of Modernity*, Columbia University Press, New York 2009, p. 169.

ben rappresentano con un supporto matematico l'evoluzione caotica di un fenomeno<sup>8</sup>. Questo è stato il punto di partenza per una comprensione sistematica dei fenomeni più diversi, tra cui le formazioni di rock band, delle nuvole, dei bronchi e della fissazione del prezzo nei mercati finanziari<sup>9</sup>: un tentativo di osservazione di un mondo reale che, pur rimanendo nei limiti della fotografia e non del dipinto nell'espressione citata di Raymond Aron, abbatte la regolarità della geometria euclidea.

In maniera più generica, ritengo che molti modelli della Natura sono così irregolari e frammentari, che rispetto alla Natura euclidea – espressione usata in questo lavoro per connotare la geometria cosiddetta 'standard' – manifesta non solo un alto margine di complessità ma un livello completamente differente di quest'ultima. Il numero delle scale diverse di misura dei modelli naturali è infinito per ciascun scopo pratico<sup>10</sup>.

Immaginare un'intelligenza in grado di poter considerare ogni singolo elemento e prevedere tutti i possibili esiti irregolari, complessità e non linearità comprese, secondo l'idea leibniziana di legame causa-effetto e comprensione del futuro<sup>11</sup>, richiama una concezione del mondo (verrebbe da dire newtoniana) che sistematizza le *uniformità* della natura tramite leve matematiche. La natura non si scrive in algoritmi, ma l'algoritmo, il numero, è uno strumento di comprensione. E la teoria del caos suggerisce che minuscole influenze sulle circostanze iniziali rischiano di avere effetti non facilmente immaginabili.

La dipendenza dalle condizioni iniziali, o la non proporzionalità tra causa e effetto, è la conseguenza dell'impossibilità di misurare con pre-

<sup>8</sup> Vd. glossario del Santa Fe Institute <<https://www.complexityexplorer.org/explore/glossary#F>> (12/2016).

<sup>9</sup> B.B. Mandelbrot, R.L. Hudson, *The (Mis) Behaviour of Markets: A Fractal View of Risk, Ruin and Reward*, Profile Books, Londra 2004.

<sup>10</sup> B.B. Mandelbrot, *The Fractal Geometry of Nature*, W.H. Freedman & Company, New York 1982, citazione reperibile su <<http://www.oxfordstrat.com/resources/ideas/mandelbrot-benoit/>> (09/2016).

<sup>11</sup> «Un'intelligenza che per un dato istante conoscesse tutte le forze da cui la natura è animata e la situazione rispettiva degli esseri che la compongono, se fosse così vasta da sottoporre questi dati all'analisi, abbraccerebbe in un'unica e medesima formula i movimenti dei più grandi corpi dell'Universo e quelli del più lieve atomo: nulla sarebbe incerto per essa, e l'avvenire, come il passato, sarebbe presente ai suoi occhi». P.-S. Laplace, *Théorie Analytique des Probabilités*, Vourcier Imprimeur, Parigi 1814 (II ed.), *Introduction*, p. II; mentre Leibniz, «Vediamo allora che ogni cosa procede in modo matematico – cioè infallibilmente – nel mondo intero, in modo che se qualcuno avesse una sufficiente capacità di conoscere a fondo le cose, e avesse abbastanza intelligenza e memoria per considerare tutte le circostanze e tenerne conto, questi potrebbe essere un profeta e potrebbe vedere il futuro nel presente come in uno specchio», in G.I. Bischi, *Modelli Dinamici per le Scienze Sociali*, in *Complessità e Riduzionismo*, a cura di V. Fano, E. Giannetto, G. Giannini, P. Graziani, Isonomia-Epistemologica, Urbino 2012, p. 14.

cisione gli elementi di un sistema, non solo a causa della non idoneità degli strumenti di misurazione, ma anche del calcolo approssimativo stesso, rendendo, ipoteticamente, alcune predizioni del tutto vane. Henry Poincaré, distinguendo il caso come probabilità statistica dal caso come processo deterministico imprevedibile a causa della troppa sensibilità alle condizioni iniziali, pone in tali parole le basi della teoria del caos.

Se conoscessimo esattamente le leggi della natura e la situazione dell'universo all'istante iniziale, potremmo prevedere esattamente la situazione dello stesso universo in un istante successivo. Ma se pure accadesse che le leggi naturali non avessero più alcun segreto per noi, anche in tal caso potremmo conoscere la situazione iniziale solo approssimativamente. Se questo ci permettesse di prevedere la situazione successiva con la stessa approssimazione, non ci occorrerebbe di più e dovremmo dire che il fenomeno è stato previsto. Ma non è sempre così; può accadere che piccole differenze nelle condizioni iniziali ne producano di grandissime nei fenomeni finali. Un piccolo errore nelle prime produce un errore enorme nei secondi. La previsione diviene impossibile [...]<sup>12</sup>.

Il predominio e la scelta di un'analisi qualitativa permette quanto meno di identificare, di fronte alla proclamazione della morte di un certo modello di comprensione (morte segnata anche dall'avanzamento del fenomeno quantico), un comportamento regolare di alcuni elementi all'interno del sistema considerato. Il tentativo di tale omelia funebre è quello di traslare considerazioni sull'approccio della complessità alla comprensione della realtà nel macrocosmo delle scienze sociali e nel microcosmo della teoria del fenomeno bellico, in particolare nella tradizione del pensiero di Clausewitz come ripresa degli elementi della *pars destruens* (cap. 1) per la fondazione di una strategia dell'ambiente spaziale. Persino i tentativi di controllo del caos, attraverso la stabilizzazione di un periodo di oscillazione delle variabili e la formulazione di un conseguente algoritmo, sono limitati dalla non generalità delle conclusioni ottenute, avvitandosi nella morsa del punto di partenza della teoria del caos<sup>13</sup>, come se si realizzasse quel veritiero paradosso secondo il quale, per citare Carlo Emilio Gadda ne *L'Egoista* (1953), «se una libellula vola a Tokyo, innesca una serie di reazioni che raggiungono me»<sup>14</sup>.

<sup>12</sup> Henry Poincaré (1903), citazione in G.I. Bischì, *La Scomparsa di Edward Lorenz*, <<http://matematica.unibocconi.it/interventi/Lorenz/lorenz.htm>> (09/2016).

<sup>13</sup> C. Bick, C. Kolodziejcki, M. Timme, *Controlling chaos faster*, «Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science», XXIV, settembre 2014, pp. 1-13.

<sup>14</sup> C.E. Gadda, *L'Egoista*, in *I viaggi e la morte*, Garzanti, Milano 2001. Su Gadda, la teoria del caos e, in generale, i suoi rapporti con la filosofia si consiglia C. Mileschi, *Gadda filosofo: un precursore filosofo*, «The Edinburgh Journal of Gadda Studies (EJGS)»,

Un passo ulteriore va compiuto. Il riferimento alla teoria della complessità permette di inquadrare il caos in una cornice in cui un comportamento non è la mera somma dei comportamenti individuali e la cui etimologia (*complecto*, 'cingere', 'tenere avvinto strettamente', a sua volta composto da *cum*, 'insieme', e dal sostantivo del verbo *plecto* dal greco *πλέκτος*, 'intrecciato') suggerisce lo studio di intricati intrecci o interconnessioni di elementi all'interno del sistema e tra il sistema e il suo ambiente<sup>15</sup>. Il richiamo forte a quanto visto nel capitolo precedente e nella teoria di Alberts su un nuovo modello delle funzioni Comando e Controllo va nella direzione stessa dell'epistemologia della complessità che racchiude i vari ambiti delle scienze e della comprensione del mondo reale. Per richiamare quanto detto sul *C2 Maturity Model*, la rete, il *network*, l'infrastruttura di collegamento tra le entità diviene per la teoria della complessità non linearità negli sviluppi della teoria del caos, sorgente di vita per l'auto-organizzazione (l'auto-sincronizzazione), proprietà fondamentale del sistema complesso<sup>16</sup>.

I sistemi complessi adattivi (*Complex Adaptive System*, CAS) costituiscono un caso particolare dei sistemi. Questi infatti sono capaci di adattarsi imparando dall'esperienza. Secondo John Holland, essi uniscono i processi di apprendimento, evoluzione e adattamento, il cui controllo decentralizzato e dispersivo favorisce ed è favorito dal comportamento coerente competitivo e coordinato delle entità<sup>17</sup>. L'esplorazione delle funzioni non lineari con l'uso dei computer ha permesso, poi, di scoprire un concetto chiave per la comprensione dell'evoluzione dei sistemi complessi: la biforcazione, ovvero la situazione raggiunta allorché una piccola variazione dei valori dei parametri comporti un cambiamento qualitativo del sistema (un cambiamento dei punti di equilibrio e della loro natura)<sup>18</sup>. Al punto di biforcazione, il sistema può sviluppare due alternative stabili, ognuna delle quali dipende dalla perturbazione avvenuta, e cambiamenti successivi dei valori dei parametri conducono a biforcazioni conseguenti e così via. È un attimo prima dell'inizio del sistema caotico, quando le biforcazioni si presentano con i loro valori massimi, che la flessibilità e l'adattabilità del sistema è massimizzata, ovvero al 'confine con il caos'

V, 2007, <<http://www.gadda.ed.ac.uk/Pages/journal/issue5/articles/mileschipsecurso-re05.php#dedn31>> (09/2016).

<sup>15</sup> M. Gell-Mann, *Let's Call it Plectics*, «Complexity Journal», I (5), 1995-1996, <<http://www.ttvanguard.com/docs/phoenix99/plectics.doc>> (09/2016).

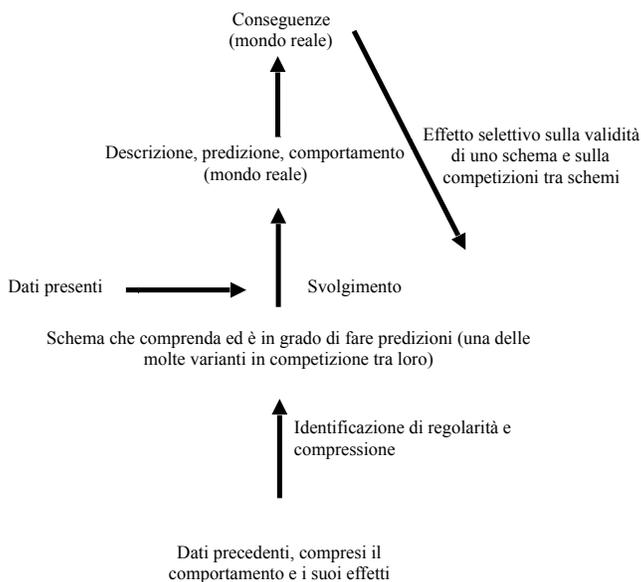
<sup>16</sup> Bousquet, *The Scientific Way of Warfare. Order and Chaos on the Battlefields of Modernity*, cit., p. 175.

<sup>17</sup> M.M. Waldrop, *Complexity: The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos*, Viking, Londra 1992, pp. 145-146.

<sup>18</sup> Cfr. D. Ruelle, *Elements of Differentiable Dynamics and Bifurcation Theory*, Academic Press, Saint Louis 1989.

(*C2 Edge*). Tale punto può essere considerato come equilibrio tra le forze di ordine e di disordine, tra rigide e fisse strutture e il moto caotico, così la guerra come sistema transitorio tra strutture rigide e flessibili<sup>19</sup>. In tale ottica, l'*OODA Loop* è lo schema del processo con il quale un sistema adattivo complesso acquisisce informazioni sull'ambiente in cui agisce, interagisce con esso, ne identifica le regolarità e modella il proprio comportamento sulla base di queste (apprendimento, evoluzione e adattamento). Lo stesso fisico Murray Gell-Mann ne ha rappresentato il processo come ciclo continuo di nuove informazioni e di anelli di reazione (*feedback*)<sup>20</sup>, richiamando alla mente in maniera forte lo schema dello stratega statunitense (Figura 6.1).

Figura 6.1 – Organizzazione funzionale CAS<sup>21</sup>.



Così Chuck Spinney, di cui Boyd è stato mentore, si riferisce alla connessione tra l'*OODA Loop* e la teoria della complessità:

<sup>19</sup> Cfr. L.P. Beckerman, *The non-linear dynamics of war*, Science Applications International Corporation, Springer Verlag 1999.

<sup>20</sup> Per un confronto più dettagliato tra il diagramma di Gell-Mann e il pensiero di John Boyd, vd. F. Osinga, *Science, Strategy and War: The Strategic Theory of John Boyd*, Routledge, Abingdon 2007.

<sup>21</sup> Da M. Gell-Mann, *Il quark e il giaguaro. Avventure nel semplice e nel complesso*, Bollati-Boringhieri, Torino 1996, p. 43.

Mentre l'idea di distruggere il processo ciclico decisionale avversario è vecchia negli *affair military*, la teoria di Boyd di operare 'all'interno' dell'*OODA loop* avversario è una nuova e audace prospettiva. Lo scopo di Boyd è di isolare l'ambiente del nemico dall'ambiente esterno penetrando nella sua mente per distruggere la sua visione del mondo. La chiave per ben apprezzare la forza dell'idea di Boyd è comprendere perchè la funzione 'orientamento' è la porta attraverso la quale un attore può penetrare nel processo ciclico avversario. Ognuno di noi basa le proprie decisioni e azioni sull'osservazione del mondo esternofiltrate attraverso modelli mentali volti a orientare le nostre opportunità e i nostri timori. Come mostrato da Konrad Lorenz e altri, talvolta ciò che è chiamato 'paradigma' modella ed è, a sua volta, modellato dalla relazioni evolutive tra il singolo organismo e l'ambiente esterno. Tale interazione biunivoca è al centro di molti fraintendimenti sulla natura stessa dell'*OODA loop*. Biologi evolucionisti, etologi e studiosi di cibernetica riconosceranno immediatamente che le espressioni 'modella' ed 'è modellato' ci suggeriscono che l'*OODA loop* è il prodotto di interazioni co-evolutive. Dal momento che i processi co-evolutivi contengono cicli di *feedback* sia positivi che negative, l'*OODA loop* è necessariamente un Sistema non-lineare e mostrerà comportamenti emergenti imprevedibili. Come osservato, questo punto cruciale è stato perduto dagli ideatori del cosiddetto 'Sistema di Sistemi' [vd. paragrafo su NNEC over SATCOM], i quali usano l'*OODA loop* per giustificare la loro idea di *feedback* negativo delle architetture di comando e controllo<sup>22</sup>.

L'apertura di Boyd ai cambiamenti esterni corre parallela alla teoria della complessità nel non determinismo del modello. Allo stesso tempo la struttura del *loop* deve essere aperta a cambiamenti e mutamenti dei valori causati da nuove informazioni dall'ambiente esterno e dagli esiti del processo decisionale, che, ove mutati, andrebbero interpretati attraverso schemi diversi (ad esempio, cambiamenti per mutate circostanze, propone Chuck Spinney per il conflitto attuale in Ucraina<sup>23</sup>).

L'imprevedibilità e l'incerto sono fonti non solo di cambiamenti, ma anche di possibilità, di opportunità, di potenzialità, mantenendo (anche nel pensiero di Boyd) una certa ambiguità tra ipotesi (decisioni) e azione (test) come verifica delle prime in contesti dove non vi è nessuna garanzia di successo. Tale potenziale va adattato tenendo presente il processo decisionale avversario e discernendo l'efficienza del modello dalle irregolarità create dagli eventi non previsti. La guerra diviene a

<sup>22</sup> C. Spinney, *Asleep at the Switch in Versailles... or... Why Nonlinear Realities Overwhelm Linear Visions... or... Why did Slobo Cave?, Defense and the National Interest*, 6 settembre 1999, <<http://www.dnipogo.org/fcs/comments/c317.htm>> (09/2016).

<sup>23</sup> Chuck Spinney: *US Broken OODA Loops on Ukraine*, *Public Intelligence Blog*, 22 aprile 2014, <<http://www.phibetaiota.net/2014/04/chuck-spinney-us-broken-ooda-loops-on-ukraine/>> (09/2016).

la Clausewitz (nonostante Boyd sia stato un aspro critico del generale prussiano)<sup>24</sup> uno scontro di volontà: quanto più sopraffatto è l'avversario, tanto più si piega al mantenimento del modello in base al quale ha operato il suo processo decisionale, come estremo baluardo in un contesto dove le sue funzioni di Comando e Controllo si allontanano sempre di più dalla realtà<sup>25</sup>.

L'obiettivo finale risiede nell'abilità avversaria di resistere e non nelle sue capacità materiali. La ciclicità diviene centrale nella possibilità di espletare le funzioni di Comando e Controllo più abilmente dell'avversario (sia chiaro non solo in una sfumatura marcatamente temporale, ma tenendo conto di iniziativa, sorpresa e inganno per citare Sun Tzu)<sup>26</sup>, in particolar modo nell'importanza delle caratteristiche net-centriche («network-centric warfare looks at war as a complex adaptive system where non-linear variables continuously interact»<sup>27</sup>). E non è solo una questione di processo, ma, inevitabilmente, di struttura e di infrastruttura della trasmissione delle informazioni<sup>28</sup>.

Nella valutazione del paradigma Comando e Controllo centralizzato ed esecuzione decentralizzata si possono per ora porre due basi sulla falsariga delle leggi della cibernetica. Nella prima, l'arte del comando sembra rispondere alla legge di Metcalfe, nel senso che l'utilità e il valore della rete sono pari ad  $n^2 - n$  dove  $n$  è il numero degli utenti, implicando una distribuzione delle facoltà di comando, sebbene esso rimanga ancora perlopiù centralizzato. Nella seconda, la scienza del controllo espande le proprie capacità in maniera esponenziale all'ampliamento delle capacità umane, ricalcando il postulato della legge di Moore, secondo cui le prestazioni dei processori, e il numero di *transistor* (semiconduttore usato in elettronica) ad esso relativo, raddoppiano ogni diciotto mesi, portando

<sup>24</sup> Osinga, *Science, Strategy and War: The Strategic Theory of John Boyd*, cit., pp. 33-34.

<sup>25</sup> G.T. Hammond, *The Essential Boyd*, <<https://americawar.wordpress.com/thin-ker/john-r-boyd/the-essential-boyd/>> (09/2016).

<sup>26</sup> *Ibidem*.

<sup>27</sup> Citazione del Vice Ammiraglio Arthur Cebrowski, allora direttore dell'Office of Force Transformation, riportata da C.S. Gray, *Strategy for Chaos: Revolutions in Military Affairs and the Evidence of History*, Frank Cass Publisher, Portland 2002, p. 105.

<sup>28</sup> J. Arquilla, D. Ronfeldt, *Looking Ahead: Preparing For Information-Age Conflict*, in *In Athena's Camp: Preparing for Conflict in the Information Age*, a cura di J. Arquilla, D. Ronfeldt, RAND Corporation, Santa Monica 1997, pp. 442-446. «Tutte le strutture contengono informazioni integrate. Doce c'è una struttura – o comportamento o organizzazione – c'è informazione. In qualche maniera massa della struttura e massa dell'informazione vanno assieme. L'informazione integrata è ciò che rende qualsiasi struttura – fisica, biologica o sociale – capace di mantenere forma propria, di rimanere coerente, persino di evolvere e adattarsi. Ogni forma di organizzazione dipende così dall'informazione integrata; quella non ha forma, né può conservarla, senza di questa» (pp. 444-445).

con sé quella fase di decentralizzazione dell'esecuzione e del controllo caratteristica comune dei conflitti di oggi e di domani<sup>29</sup>.

### 6.2 Non-linearità del fenomeno bellico in Clausewitz

La guerra, il conflitto, configurandosi come elemento incerto, complesso e caotico, sembra poter esser compresa alla luce della teoria della complessità, o meglio della complessità sin qui delineata come *scienza nuova* di comprensione.

Alan Beyerchen, seguendo questa prospettiva, identifica negli scritti dello stratega prussiano tre caratteristiche e cause dell'incertezza e dell'imprevedibilità: le interazioni, l'attrito e il caso<sup>30</sup>.

#### a. Le interazioni

Per riprendere la prima definizione di guerra di Clausewitz, essa «non è che un duello [*Zweikampf*] su vasta scala [...] un atto di forza che ha per scopo di costringere l'avversario a sottomettersi alla nostra volontà»<sup>31</sup>, mentre il legame tra l'interazione (come lo scontro di volontà) con la non linearità, e, prima, con l'incerto, ovvero con la base stessa della teoria della complessità, pone una questione sostanziale sulla considerazione della guerra come arte o scienza e, quindi, come fenomeno quantificabile e prevedibile.

La differenza essenziale sta nel fatto che la guerra non è l'effetto di una volontà esercitata sulla materia inerte, come avviene nelle arti meccaniche, o verso un oggetto vivente ma passivo, senza reazione, come lo sono lo spirito ed i sentimenti umani nei riguardi delle arti immaginative: la guerra agisce invece sopra un oggetto vivente e reagente<sup>32</sup>.

L'interazione dinamica prodotta dall'azione militare non può essere ricondotta a termini meccanici o troppo deterministici, anche se sono le arti meccaniche a essere prese a modello, ma va inquadrata in termini qualitativi.

<sup>29</sup> Lt. Gen. David A. Deptula, USAF, *A New Era for Command and Control of Aerospace Operations*, «Air & Space Journal», luglio-agosto 2014, p. 14. Sulla legge di Metcalfe e sulla sua verifica di fronte ai nuovi sviluppi della rete vd. intervento di Clay Shirky "A Group Is Its Own Worst Enemy", O'Reilly Emerging Technology conference, Santa Clara, 24 aprile 2003 <[http://www.shirky.com/writings/group\\_enemy.html](http://www.shirky.com/writings/group_enemy.html)> (12/2016), mentre sulla legge di Moore vd. <<http://www.moorelaw.org/>> (09/2016).

<sup>30</sup> Beyerchen, *Clausewitz, Nonlinearity and the Unpredictable of War*, cit., pp. 59-90.

<sup>31</sup> Clausewitz, *Della Guerra*, cit., Libro I, cap. 1, p. 19.

<sup>32</sup> Ivi, Libro II, cap. 2, p. 130.

La seconda caratteristica dell'azione bellica è la reazione viva dell'avversario e la contro-reazione che ne risulta. Non parliamo qui della difficoltà di valutare una simile reazione; essa risulta già abbastanza da quanto abbiamo detto circa gli ostacoli che si incontrano nell'esame dei fattori e delle forze morali<sup>33</sup>.

La causa dell'incertezza è la natura dell'interazione stessa<sup>34</sup>, la quale non è solamente presente in ottica dialettica con l'avversario, ma è la conseguenza dell'ambiente in cui si opera in maniera non proporzionale agli elementi iniziali (cfr. Libro IV, cap. 10, *Ancora della grande battaglia – Effetti della vittoria*<sup>35</sup>). Si innesta un rapido e complicato meccanismo di azione-reazione, che coinvolge tutti i campi del fenomeno bellico, dalle turbolenze atmosferiche ai fattori morali. L'interazione si manifesta in quella dialettica che una certa critica, in particolare Raymond Aron, ha distinto dalla dialettica hegeliana. Questi, delineando tre coppie concettuali intorno alle quali si svilupperebbe il sistema (morale-materiale; mezzi-fini; difesa-attacco)<sup>36</sup>, nota come la volontà stessa di Clausewitz non sia quella di comprendere la guerra attraverso binomi dialettici che abbraccino tutte le sfere, ma di lasciare, anzi, di non precludere, uno spazio per l'ambiguità nelle implicazioni reali<sup>37</sup>. Stessa ambiguità e complessità che si mostra nella distinzione tra strategia e tattica:

L'arte della guerra, così concepita in senso ristretto, si suddivide poi in tattica e strategia. La prima si occupa delle forme di combattimento, la seconda dell'impiego dei combattimenti. [...] Occorrerebbe invero una buona dose di pedanteria per ricercare sul campo di battaglia i risultati immediati di una distinzione teorica [...] La tattica e la strategia designano due attività che si compenetrano mutualmente nello spazio e nel tempo,

<sup>33</sup> Ivi, Libro II, cap. 2, pp. 114-115.

<sup>34</sup> Beyerchen, *Clausewitz, Nonlinearity and the Unpredictable of War*, cit., p. 73.

<sup>35</sup> «Abbiamo già detto al capitolo VII che la grandezza di una vittoria non cresce solamente in proporzione semplice secondo la massa delle forze battute, ma seguendo un rapporto progressivo. Gli effetti morali che risultano dall'esito di un grande combattimento sono più potenti per il vinto che per il vincitore: essi cagionano al primo perdite materiali considerevoli, le quali reagiscono a loro volta sul morale, cosicché il disastro si ingrandisce con rapida progressione». Clausewitz, *Della Guerra*, cit., Libro IV, cap. 10, p. 289.

<sup>36</sup> R. Aron, *Clausewitz: Philosopher of War* (trad. C. Booker e N. Stone), Routledge and Kegan Paul, Londra 1983, p. 90 – opposizioni, titoli di tre corrispondenti capitoli, meno evidenti nell'edizione italiana dal momento che sono scomparsi dalle intestazioni, il pensiero di Raymond Aron sulla dialettica clausewitziana emerge anche in *Paix et Guerre entre les Nations*, Calmann-Lévy, Paris 2008, pp. 33-38; sul concetto di polarità vd. anche: P. Paret, "Clasuwitz", in *Guerra e Strategia nell'età contemporanea*, a cura di P. Paret (ed. it. a cura di N. Lablanca), Marietti, Genova 1992, Parte I, cap. 3, pp. 101-126, in particolare pp. 108-110.

<sup>37</sup> Ivi, pp. 98-99.

ma restano tuttavia essenzialmente distinte; le loro leggi intime ed i loro mutui rapporti non possono, in definitiva, essere chiaramente concepiti a mezzo di definizioni ben nette<sup>38</sup>.

D'accordo con Beyerchen, l'importanza del binomio in Clausewitz non è lo scontro, l'opposto di due elementi distinti e separati, ma i risultati delle loro interazioni, della loro dialettica. Questa immagine, d'altronde, è preponderante nel concetto stesso di guerra come scontro di volontà, come duello, come lotta, «le choc de deux forces vives»<sup>39</sup>. La stessa immagine non delinea la guerra come un alternarsi di mossa e contro-mossa (gioco a mosse alterne), dal momento che la non linearità del processo di azione-reazione rischia di sovvertirne le regole. La guerra è strutturalmente e ontologicamente instabile («elle [la guerre] devient action aventureuse, calcul des probabilités en fonction des informations accessibles aux partenaires-adversaires du jeu politiques»)<sup>40</sup>. Da qui l'essenza del 'camaleonte', che cambia natura in ogni sua forma di concretizzazione, negli elementi originali (violenza, odio, inimicizia), nella probabilità e nel caso (impresso dal carattere di una libera attività dell'anima), nella ragione della sua natura subordinata alla politica.

#### b. *L'attrito*

Elemento chiave del pensiero di Clausewitz, l'attrito è la sola idea «che abbia sufficiente analogia genuina con quanto distingue la guerra reale dalla guerra a tavolino»<sup>41</sup>. Quella che è stata ribattezzata la legge di Murphy di Clausewitz<sup>42</sup>, secondo la quale se qualcosa può andar male, andrà male di sicuro, richiama l'influenza dei fattori esogeni come determinanti per dare una piega negativa alle circostanze e compromettere l'esito delle operazioni (le condizioni atmosferiche sono il classico lampante esempio). Tale variabile è da considerarsi come irregolarità endogena:

Tutto è molto semplice, in guerra: ma ciò che è semplicissimo non è facile. Le difficoltà si accumulano e producono, nel loro complesso, un *attrito*, che non si può raffigurare esattamente senza aver veduto la guerra. Ci si figuri un viaggiatore che verso la sera della sua giornata di viaggio

<sup>38</sup> Clausewitz, *Della Guerra*, cit., Libro II, cap. 1, p. 96.

<sup>39</sup> Aron, *Paix et Guerre entre les Nations*, cit., p. 34.

<sup>40</sup> Ivi, p. 35.

<sup>41</sup> Clausewitz, *Della Guerra*, cit., Libro I, cap. 7.

<sup>42</sup> E.P.Visco, *More Than You Ever Wanted to Know About Clausewitzian Friction, The Cornwallis Group VIII: Analysis for Governance and Stability*, agosto 2003, pp. 311-327, <[http://www.ismor.com/cornwallis/cornwallis\\_2003/2003\\_18Visco-3Aug.pdf](http://www.ismor.com/cornwallis/cornwallis_2003/2003_18Visco-3Aug.pdf)> (12/2016); Id., *Murphy's Law is Alive and Well: Clausewitzian Friction on the Modern Battlefield*, 29<sup>th</sup> IS-MOR Symposium, Cranfield, agosto 2012, <[http://ismor.cds.cranfield.ac.uk/29th-symposium-2012/murphys-law-is-alive-and-well-clausewitzian-friction-on-the-modern-battlefield/@@download/paper/29ismor\\_visco.pdf](http://ismor.cds.cranfield.ac.uk/29th-symposium-2012/murphys-law-is-alive-and-well-clausewitzian-friction-on-the-modern-battlefield/@@download/paper/29ismor_visco.pdf)> (09/2016).

intenda superare ancora due località di tappa; non si tratta che di quattro o cinque ore da percorrere, con cavalli di posta, sopra una rotabile: quasi nulla. Ma, arrivando al penultimo cambio, egli non trova cavalli, o ne trova soltanto cattivi; vi è poi una contrada montuosa, con strade in cattivo stato; una notte oscura lo sorprende, ed egli è felicissimo di raggiungere a gran fatica il cambio successivo e di trovarsi un miserabile alloggio. È così il rendimento si riduce in guerra, sotto l'influenza di piccole cause innumerevoli che è impossibile apprezzare convenientemente a tavolino; ed in conseguenza si resta molto al di sotto del risultato previsto. Occorre una volontà di ferro per vincere questi attriti; volontà che infrange gli ostacoli, ma nel tempo stesso ne distrugge la macchina. [...] La macchina militare, cioè l'esercito e tutto ciò che lo riguarda, è, in fondo, semplicissima e sembra appunto a causa di ciò facile a maneggiare. Ma non si deve dimenticare che ciascuna delle sue parti forma un solo pezzo, che esse sono invece composte di singoli ingranaggi di cui ciascuno ha un attrito proprio in ogni senso. [...] Questo enorme attrito, che è impossibile concentrare come in meccanica su pochi punti, è perciò dovunque in contatto col caso, e produce fenomeni che sfuggono ad ogni previsione, appunto perché derivanti per la maggior parte da cause accidentali. [...] L'azione in guerra è un movimento in un mezzo resistente<sup>43</sup>.

L'attrito generato dalla non linearità delle interazioni del mondo reale richiama in due aspetti quanto detto a proposito della teoria della complessità. Da un lato, la nozione di entropia legata alla seconda legge della termodinamica mostra l'attrito come azione contro un mezzo resistente, nella resistenza al mondo reale stesso, quanto basta a rendere vana l'esecuzione di un'azione: «una nebbia che impedisce che il nemico sia scorto in tempo, che un cannone cominci il fuoco al momento opportuno, che un messaggio pervenga all'ufficio del comandante». Basta citare, ad esempio, le possibilità di errore umano nel calibrare o nel valutare i dati forniti dai dispositivi satellitari (si consideri solo i dati di un dispositivo per la localizzazione mal interpretati a causa di una nuvola di troppo). Dall'altro, in un sistema dove la trasmissione delle informazioni diventa cruciale, un'irregolarità, intesa come non linearità, nelle analisi delle attività di *intelligence*, di una sola informazione diventa determinante. Un 'rumore' nel processo informativo durante le fasi di pianificazione, controllo e comando aumenta quella 'nebbia della guerra', nella nota espressione inglese *fog of war*<sup>44</sup> (*Nebel des Krieges*), nella quale solo un'intelligenza molto penetrante, il genio guerriero, può giungere all'intuizione del-

<sup>43</sup> Clausewitz, *Della Guerra*, cit., Libro I, cap. 7, pp. 86 ss.

<sup>44</sup> Cfr. <<http://www.globalsecurity.org/military/library/report/1997/Lynes.htm>> (09/2016); E.C. Kesling, *On War Without the Fog*, «Military Review», settembre-ottobre 2001, pp. 85-87; *The Fog of War* è anche la prima parte del titolo di un noto documentario con la regia di Errol Morris, tratto dal libro di Robert MacNamara *Retrospect: The Tragedy and Lessons from Vietnam* (1995).

la verità mediante il frutto del proprio raziocinio. Nebbia e attrito che non agiscono secondo un rapporto di proporzionalità ma progressivamente influiscono, in maniera imprevedibile, sul processo decisionale e sull'esecuzione delle operazioni. E nulla può una conoscenza laplaciana di tutti gli elementi iniziali.

*c. Il caso*

«La guerra è anche il campo del caso. Non vi è ramo dell'attività umana, che debba lasciare tanta parte all'impreveduto come la guerra; nessuna è, come questa, in contatto permanente col caso, in ogni direzione»<sup>45</sup>. La connessione tra caso e incertezza viene vista da Beyerchen attraverso la lente del matematico Henry Poincaré, uno dei padri della scienza non lineare, che delinea l'emergere del caso come fenomeno di probabilità statistica, come amplificazione di una micro causa e/o come funzione della propria cecità analitica<sup>46</sup>. Il caos stocastico, il calcolo, cioè, della quantità di interazioni con agenti perturbatori esterni e non dalla dinamica interna del sistema stesso (caos deterministico), aiuta un'analisi matematico-statistica del fenomeno negli esiti una curva di probabilità<sup>47</sup>. Sebbene l'elemento matematico evidenzia difficoltà nell'affrontare il fenomeno bellico a causa della sua natura mai paga di possibilità, di fortuna e, insieme, di sfortuna, una visione cognitivo-psicologica della guerra come tiro a dadi fa sì che fra tutti i rami dell'attività umana, essa sia quella che «più rassomiglia a una partita con le carte da gioco», il cui elevato numero di variabili ne aumenta notevolmente la difficoltà di comprensione.

Poiché la molteplicità e la natura indeterminata di tutti i rapporti fanno entrare in considerazioni numerose grandezze, che debbono per la maggior parte venir calcolate soltanto sulla base della probabilità, si vede chiaro che se il generale non sapesse abbracciare tutto mediante lo sguardo di uno spirito che presagisce ovunque la verità, ne sorgerebbe un groviglio di considerazioni e di riguardi del quale il suo raziocinio non potrebbe uscire vittorioso. È in questo senso che il Bonaparte ha detto, assai giustamente, che «molte decisioni da prendersi dal condottiero costituirebbero problemi matematici la cui soluzione sarebbe degna delle energie intellettuali di un Newton o di un Eulero»<sup>48</sup>.

La probabilità statistica, se non assecondata dall'esperienze del comandante e dal colpo d'occhio (*coup d'œil*) del genio, sarebbe del tutto

<sup>45</sup> Clausewitz, *Della Guerra*, cit., Libro I, cap. 3, p. 61.

<sup>46</sup> Beyerchen, *Clausewitz, Nonlinearity and the Unpredictable of War*, cit., p. 78.

<sup>47</sup> Sull'influenza dei principi matematici sul pensiero di Clausewitz, in particolare circa le sue critiche a Von Bulow, vd. Paret, *Clausewitz*, cit., pp. 104-105.

<sup>48</sup> Clausewitz, *Della Guerra*, cit., Libro I, cap. 3, p. 78.

infeconda. A tale considerazione va aggiunta anche «la difficoltà del veder giusto, che costituisce uno dei maggiori attriti in guerra»<sup>49</sup>. La distinzione tra la seconda caratteristica (amplificazione di micro cause) e la prima appena vista consiste nella crucialità delle condizioni iniziali presenti all'interno del sistema stesso per gli esiti finali. Infatti, mentre una conoscenza assoluta e larga di piccole informazioni o cause diviene impossibile, un mutamento improvviso delle condizioni iniziali potrebbe mettere in risalto aspetti non affatto considerati o interpretati come agenti di scarso valore, caratteristica quest'ultima preludio della teoria del caos. Si vedono, così, in Clausewitz i limiti di una concezione newtoniana del fenomeno bellico

perché le vere cause non sono sempre conosciute. Ciò non avviene mai così frequentemente come nella guerra, in cui molto di rado gli avvenimenti sono completamente noti e meno ancora lo sono i loro moventi [...]<sup>50</sup>.

L'interazione aumenta la nebbia. E l'interazione in guerra, la dialettica delle volontà, è inevitabile. L'ultimo aspetto (la cecità analitica) è il frutto della tendenza propria di ognuno a scomporre l'analisi di un fenomeno intero e complesso in parti differenti e isolate l'una dall'altra. Allorché due o più parti interagiscono, un approccio come quello appena descritto inquadrirebbe tali interazioni come inspiegabili irregolarità all'interno del sistema. Un approccio olistico è invece necessario per evitare l'isolamento innaturale di un sistema aperto all'ambiente in cui esso agisce e per ricercare un'ampia comprensione dell'interconnessione tra le parti e delle parti con il tutto.

Da ciò derivano gli sforzi per stabilire massime, regole ed anche sistemi per la condotta della guerra. Ci si propone così uno scopo positivo, senza però aver abbracciato col pensiero le immense difficoltà che presenta la condotta della guerra, considerata da questo punto di vista. Questa, come abbiamo detto, si ramifica in quasi tutte le direzioni senza limiti determinati. Invece ogni sistema, ogni edificio dottrinario è una sintesi che implica dei limiti: ne consegue una contraddizione inconciliabile fra la teoria e la pratica<sup>51</sup>.

Tutti questi tentativi di teorie sono da considerarsi quali progressi nel dominio della verità solo nella loro parte analitica; nella loro parte sintetica, invece, nelle loro regole e prescrizioni, non valgono assolutamente nulla. Essi tendono infatti verso grandezze determinate,

<sup>49</sup> Ivi, Libro II, cap. 6, p. 85.

<sup>50</sup> Ivi, Libro II, cap. 5, p. 140.

<sup>51</sup> Ivi, Libro II, cap. 2, p. 107.

mentre in guerra tutto è indeterminato, e *il calcolo non può esercitarsi che su grandezze variabili*; – essi dirigono il loro esame solo verso grandezze materiali, mentre tutto l'atto della guerra è *solcato da forze e da effetti di origine morale*; – essi non considerano che un'attività unilaterale, mentre la guerra *consiste in azioni e reazioni continue*<sup>52</sup>.

E ancora sulla connessione tra le parti:

[...] l'opera della ricerca e dell'esame critico non è difficile; e sarà anzi facile, ogni volta che la si limiterà egli ha misconosciuto la natura di questo mezzo ed ha com-neplacito non appena si faccia astrazione dalla connessione delle parti con l'insieme e si considerino le cose solamente sotto questo rapporto ristretto. Ma in guerra, come generalmente nel mondo, tutto ciò che appartiene all'insieme si lega e si incatena: ne risulta che ogni causa, per quanto piccola, propaga i suoi effetti fino al termine dell'atto di guerra ed ha influenza, per quanto scarsa essa possa essere, sul risultato finale<sup>53</sup>.

La maggiore complessità dei conflitti odierni (non a caso definiti nel capitolo precedente come *complex endeavours*) in maniera parallela a quanto scritto da Clausewitz circa la complessità e la non linearità del fenomeno bellico porta, così, ad una prima conclusione: la guerra è un fenomeno amorfo che si rinnova costantemente. È un camaleonte che chi svolge le funzioni di Comando e Controllo o le entità in campo devono saper riconoscere, adattarvi e essere, insieme, capaci di garantire quel costante flusso di informazioni attraverso un'infrastruttura spaziale idonea, così da poter discernere l'irregolarità dal modello per fare fronte al caos interno e esterno. La *chaoplexity* per citare l'immagine richiamata dalla critica di Antoine Bousquet è la consapevolezza che «implicit in any application of the “new sciences” to land [space] combat [...] is the idea that there is some latent underlying what appears on the surface to be irregular and chaotic»<sup>54</sup>.

Essere un sistema complesso adattivo, avere capacità di risposta, ripercorrendo lo schema illustrato di Boyd e, quindi, di Gell-Mann, operare secondo il *C2 Edge* (cap. 5), sono richiami più o meno forzati alla soluzione cognitiva-psicologica proposta dallo stesso Clausewitz sulle qualità morali. Richiamo, ad esempio, esplicitamente presente nella dottrina del *Warfighting* degli US Marines:

<sup>52</sup> Ivi, Libro II, cap. 2, p. 109.

<sup>53</sup> Ivi, Libro II, cap. 5, p. 143.

<sup>54</sup> A. Ilachinski, *Land Warfare and Complexity – Part I: Mathematical Background and Technical Sourcebook*, Center for Naval Analysis, Alexandria, luglio 1996, p. 62, cit. in Bousquet, *The Scientific Way of Warfare. Order and Chaos on the Battlefields of Modernity*, cit., p. 201.

La Guerra è un fenomeno complesso. L'abbiamo descritta essenzialmente come scontro di volontà opposte. In realtà, ogni belligerante non è una singola e omogenea volontà guidata da una singola intelligenza. Esso, invece, è un sistema complesso composto da numerose parti individuali. Una divisione comprende dei reggimenti, un reggimento dei battaglioni, e così via sino al gruppo di fuoco composto da singoli *marine*. Ogni elemento è parte di un più largo insieme e deve cooperare con gli altri elementi per il raggiungimento dell'obiettivo comune. Allo stesso tempo, ognuno ha la propria missione e deve adattarla alla situazione particolare. Ognuno deve affrontare il rispettivo livello di attrito, incertezza e disordine, ognuno potrebbe creare attrito, incertezza e disordine per gli altri, alleati o avversari<sup>55</sup>.

Una nuova comprensione della guerra sta emergendo<sup>56</sup>, essa pone le proprie radici nel fecondo terreno degli scritti di Clausewitz, si irradia all'orlo del caos e richiede al fattore umano di far fronte alla complessità dell'ambiente in cui opera e di annullare l'attrito, proprio del fenomeno bellico, attraverso una *media res* tra il raggiungimento pressoché impossibile di un'intelligenza laplaciana, ovvero piegando a proprio favore un vantaggio informativo determinante e aumentando la facilità di comunicazione e trasmissione dati dallo spazio e dall'aereo-spazio con la macchina stessa, con il dispositivo satellitare o con l'UAV, e le capacità camaleontiche di un'organizzazione intera come del singolo soldato, diminuendo la centralizzazione del comando e aumentando la decentralizzazione dell'esecuzione.

### 6.3 Linearità del fenomeno bellico nel segmento spaziale

L'annullamento del fattore umano, minimo comun denominatore delle tre cause di complessità e caos nel fenomeno bellico come delineato da Clausewitz, è il punto cruciale per lo sforzo di azzeramento di imprevedibilità, complessità e caos nella guerra spaziale, nonché il punto di partenza per il tentativo di analisi qui proposto. Va notato, inoltre, che anche il concetto di attrito vede crollare il suo solido muro portante. L'errore umano, infatti, è inesistente nel segmento spaziale dei dispositivi satellitari, che viene automatizzato, mentre è il segmento terrestre di controllo e gestione dati che ha ancora nel fattore umano il suo cuore pulsante<sup>57</sup>.

<sup>55</sup> Cfr. <<http://www.clausewitz.com/readings/mcdp1.pdf>> (09/2016).

<sup>56</sup> Bousquet, *The Scientific Way of Warfare. Order and Chaos on the Battlefields of Modernity*, cit., p. 202.

<sup>57</sup> <[http://www.esa.int/Our\\_Activities/Space\\_Engineering\\_Technology/Human\\_dependability\\_how\\_to\\_deal\\_with\\_human\\_error](http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Engineering_Technology/Human_dependability_how_to_deal_with_human_error)>; <<http://www.hq.nasa.gov/office/codeq/rm/docs/hra.pdf>> (09/2016).

Il ruolo della robotica e la tele-robotica (controllo in maniera remota effettuato da un operatore umano), così come la comunicazione tra dispositivi satellitari e la guida attraverso gli stessi satelliti di dispositivi in grado di avere possibilità di difesa o di offesa (si pensi solamente alle coordinate GPS per la guida e il comando remoto di un drone<sup>58</sup>) suggerisce che lo spazio, sia come ambiente operativo diretto sia come *medium* di un'ampia architettura di difesa o di garanzia della *combat awareness*, con flussi di dati sensori e informazioni, rappresenta il paradiso 'terrestre' o, altrimenti, la placenta dell'azione meccanicizzata e robotizzata.

I robot<sup>59</sup> sono strumenti che permettono di svolgere attività normalmente eseguite da esseri umani o di implementare il campo di azione in attività non alternativamente eseguibili dall'uomo, come l'esplorazione di nuovi pianeti o dei fondali marini<sup>60</sup>. Spesso, poi, vengono comandati in maniera remota da un operatore umano in modo da combinare potere della macchina circa la sua capacità di far fronte a ambienti ostili per mancanza di condizioni indispensabili alla vita (es. sonda *Curiosity*) e potere dell'uomo circa la capacità di risposta e di comprensione di un numero elevato di situazioni<sup>61</sup>.

Compito del tentativo di seguito non è interrogarsi sull'uso più o meno giusto e più o meno strategicamente rilevante della robotica in campo militare su cui è ormai presente un'ampia letteratura<sup>62</sup>, ma è di esaminare i tentativi di abbattimento della complessità e del caos in guerra attraverso un'architettura spaziale di gestione e trasferimento delle informazioni, vantaggio determinante per la conduzione di qualsiasi conflitto, attraverso tre lenti differenti. D'altronde il sensore satellitare altro non è che un

<sup>58</sup> Cfr. A. Cuadra, C. Whitlock, *How drones are controlled*, «The Washington Post», 20 giugno 2014, <<http://www.washingtonpost.com/wp-srv/special/national/drone-crashes/how-drones-work/>> (09/2016).

<sup>59</sup> Il termine *robot* deriva dal cecco *robota* che vuol dire *lavoro pesante*, a sua volta derivato dall'originale slavo ecclesiastico, con il significato di *schiavitù* e indica una macchina in grado di svolgere, più o meno indipendentemente, lavori altrimenti eseguiti dall'uomo. Cfr. *The Online Etymology Dictionary*, <<http://www.gadda.ed.ac.uk/Pages/journal/issue5/articles/mileschhiprecursore05.php#dedn31>> (09/2016).

<sup>60</sup> C. Neiger, *Ex-Nasa engineer: How cars could think like spaceships*, «BBC.com», 25 febbraio 2015, <<http://www.bbc.com/autos/story/20150224-ex-nasa-engineer-how-cars-could-think-like-spaceships>> (09/2016).

<sup>61</sup> Cfr. N.I. Durlach, A.S. Mavor (a cura di), *Committee on Virtual Reality Research and Development*, National Research Council, Washington DC 1994, cap. 9, pp. 304-361.

<sup>62</sup> Si consiglia tra gli altri: C. Coker, *Warrior Geeks. How 21st Century Technology is Changing the Way We Fight and Think About War*, Columbia University Press, New York 2013; A. Krishnan, *Killer Robots. Legality and Ethicality of Autonomous Weapons*, MPG Books Ltd, Bodmin, Cronwall 2009; C. Hables Gray (a cura di), *The Cyborg Handbook*, Routledge, Londra 1995. Una prospettiva particolare, invece, sulla linea della fantascienza calcata dal settore militare è presente in P.W. Singer, *Wired War. The Robotics Revolution and Conflict in the 21st Century*, Penguin Press, Londra 2009 e nella presentazione video disponibile al seguente link: <[http://www.ted.com/talks/pw\\_singer\\_on\\_robots\\_of\\_war](http://www.ted.com/talks/pw_singer_on_robots_of_war)> (09/2016).

organo di senso applicato a un dispositivo automatizzato in grado di produrre una serie di informazioni che verranno esaminate da un'intelligenza capace di discernere le informazioni utili da quelle inutili o incomplete.

L'accostamento tra robotica e spazio è il fulcro dell'esplorazione spaziale, tanto che si parla sempre di più di *cyborg* in grado di sostituirsi all'uomo, prendendone addirittura le fattezze, per compiere missioni particolarmente rischiose o le cui condizioni sono per l'uomo fisicamente inaccessibili. Il caso dell'umanoide costruito dalla NASA *Robonaut*, nato come possibile alternativa alle attività umana e presente nella Stazione Spaziale Internazionale dal febbraio del 2011<sup>63</sup>, ora dotato persino di sensori tattili sulle punte delle dita<sup>64</sup>, oppure dei *Kirobo* il robot-astronauta programmato da Toyota per tentare di favorire le comunicazioni uomo e robot e abbattere l'isolamento degli astronauti nello spazio (per chi amasse maggiormente la compagna femminile è presente la versione al gentil sesso *Mirata*)<sup>65</sup> sono esempi di come l'uso di sistemi robotizzati o telecomandati sia una componente vitale per l'esplorazione spaziale.

Un'onda maggiore potrebbe provenire da ricerche nella costruzione di un computer quantistico, priorità dei sistemi spaziali per la ricerca di segnali provenienti da pianeti remoti (missione Kepler della NASA)<sup>66</sup>, in grado cioè di considerare i due termini della logica binaria (1 e 0) in maniera alternativa o complementare e di effettuare calcoli particolarmente complicati. Così si potrebbe per la prima volta essere di fronte all'embrione di un super-computer, i cui 'comportamenti' potrebbero svelare i meccanismi del pensiero umano<sup>67</sup>, mentre per la dipendenza dall'intelligenza artificiale dei moderni sistemi d'arma basta considerare quanto detto sopra relativamente a una stazione C2 per gestire e controllare operazioni di tipo *joint*<sup>68</sup>.

<sup>63</sup> <<http://robonaut.jsc.nasa.gov/default.asp#panel-1>> (09/2016).

<sup>64</sup> Cfr. M.K. O'Malley, R.O. Ambrose, *Haptic feedback applications for Robonaut*, «Industrial Robot: An International Journal», XXX, 2003, pp. 531-542.

<sup>65</sup> <<http://kibo-robot.jp/en/robot/type1.html>> (09/2016).

<sup>66</sup> Per approfondimenti si consiglia di consultare il blog del *Quantum Artificial Intelligence Lab AI* della NASA (<<https://ti.arc.nasa.gov/tech/dash/physics/quail/>> (12/2016)), la quale ha presentato insieme a Google nel maggio 2013 il *D-Wave System* (<<http://www.dwavesys.com/>>) (09/2016).

<sup>67</sup> Per le ricadute nel settore della difesa si consiglia N. Al-Rodhan, *Quantum Computing and Global Security*, «Global Policy Journal», febbraio 2015, <<http://www.globalpolicyjournal.com/blog/20/02/2015/quantum-computing-and-global-security>> (09/2016); per la ricerca nel campo delle neuroscienze del *quantum computing*, si consiglia invece: European Commission, Horizon 2020 Work Programme 2014-2015, *Future and Emerging Technologies (FET)*, 22 luglio 2014, <[http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014\\_2015/main/h2020-wp1415-fet\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014_2015/main/h2020-wp1415-fet_en.pdf)> (09/2016).

<sup>68</sup> Per avere un'idea grafica di tale visione si consiglia di considerare le innovazioni in campo tecnologico delle maggiori aziende del settore, tra cui, ad esempio: <<https://www.thalesgroup.com/en/worldwide/defence/case-study/air-c2-center-future-3d-immersive-approach-air-operations>> (09/2016).

Aldilà delle ricadute tecnologiche, ancora non pervenute in pieno nel campo strategico-militare (ad esempio, parrebbero rilevanti usi futuri della robotica nel campo della logistica)<sup>69</sup> siamo ora in grado di poter parlare di esclusività del robot o di progressiva sostituzione della macchina con l'uomo in campo militare in ottica di azione diretta al dominio dello spazio? Le informazioni ricavate e trasmesse dai dispositivi satellitari sono lo snodo per espletare quel vantaggio strategico determinante e necessario per affrontare la maggiore complessità dei conflitti futuri in campi di battaglia digitalizzati?

Considerazioni preliminari, supportate da verifiche empiriche, permettono di dare spunti parziali, non del tutto soddisfacenti, per una risposta esaustiva alle domande sopra poste. In primo luogo, la cornice teorica esposta nel primo capitolo suggerisce che, sebbene sia identificabile una strategia propria dell'ambiente spaziale (e in tal senso, per riprendere la frase citata di Vico, «le dottrine debbono cominciare da quando cominciano le materie che trattano», tale particolarità è il segno tangibile che gli attori vedono lo spazio come ambiente nel quale estendere il proprio dominio con regole proprie e con caratteristiche e visioni strategiche formate a proprio vantaggio), in chiave tattico-operativa il fattore moltiplicatore sulle operazioni *joint* o *combined* parrebbe avere maggior peso di una presunta guerra spaziale, ovvero svolta solamente tra le stelle e nello spazio profondo. Ciò nonostante, architetture di *data relay*, il futuro prossimo riservato al cosiddetto internet delle cose (M2M, *Machine to Machine*), espressione che delinea la connessione senza fili tra dispositivi remoti<sup>70</sup>, e il futuro remoto non diciano del trasferimento quantistico di dati e oggetti<sup>71</sup>, oltre le prospettive di guerre missilistiche interconti-

<sup>69</sup> Vd. C. Volos, N. Doukas, I.M. Kyprianidis, I.N. Stouboulos, T.G. Kostis, *Chaotic Autonomous Mobile Robot for Military Missions, 17th International Conference on Communications*, Isola di Rodi, 16-19 luglio 2013, <[http://www.researchgate.net/publication/255696652\\_Chaotic\\_Autonomous\\_Mobile\\_Robot\\_for\\_Military\\_Missions](http://www.researchgate.net/publication/255696652_Chaotic_Autonomous_Mobile_Robot_for_Military_Missions)> (09/2016).

<sup>70</sup> <<http://www.ses.com/14444935/library/download>> (09/2016).

<sup>71</sup> Secondo alcuni tra gli operatori del settore con cui si è avuto modo di verificare le ipotesi del presente lavoro di Tesi, un prototipo di tale tipo di satellite sarebbe stato già testato da una compagnia britannica. Altre fonti parlano, invece, di avanzamenti tecnologici della Repubblica Popolare Cinese (J. Aron, *First quantum transmission sent through space*, «NewScientist», 26 giugno 2014, <<http://www.newscientist.com/article/dn25798-first-quantum-transmission-sent-through-space.html>> (09/2016); D. Alba, *China Unveils Secret Quantum Communications Experiment*, «IEEE Spectrum», 13 giugno 2013, <<http://spectrum.ieee.org/tech-talk/aerospace/satellites/china-unveils-secret-quantum-communications-experiment>> (09/2016). Per un utile approccio all'argomento, si riporta di seguito il link di uno studio condotto dall'Università di Padova, dall'ASI e dall'e-GEOS spa: G. Vallone *et al.*, *Experimental Satellite Quantum Communications*, accesso libero sul sito della Cornell University Library (presentato nel giugno 2014), <<http://arxiv.org/pdf/1406.4051v1.pdf>> (09/2016).

nentali<sup>72</sup> e basi militari lunari<sup>73</sup>, indicano che è del colore della trasmissione dati (flussi dati sensore e dati di comando) la veste che lo spazio indosserà nel futuro ed è qui ed ora che bisogna inquadrare il fenomeno nella complessità che si appresta a far fronte, nel senso di azzeramento dell'incertezza, e nei cambiamenti che avrà nel modo di condurre la guerra, nelle funzioni di Comando e Controllo (vd. capitolo precedente) fino al singolo soldato e, prima, nella politica. Il guerriero futuro, entrando nella semantica dei dispositivi satellitari e aereo-spaziali, a ragione potrà vedere aggiunto l'appellativo di guerriero spaziale, non solo come fruitore di informazioni e dati, ma come guardiano del tempio del Caos, il demone che domina il segmento terrestre, che l'Ordine delle cose spaziali, dove non c'è errore umano, né incertezza, né caso, tenta di abbattere per garantire una comprensione adeguata e digitalizzata del complesso campo di battaglia.

<sup>72</sup> Su tale prospettiva, si consiglia tra tutti l'affascinante scritto di G. Friedman, *The Next 100 Years. A Forecast for the 21st Century*, Doubleday, New York 2009, pp. 166 ss.

<sup>73</sup> O almeno questo era l'intento del progetto statunitense *Horizon* (W. von Braun, *Project Horizon Volume II: Technical Considerations and Plans*, United States Army, 1959, <[http://www.history.army.mil/faq/horizon/Horizon\\_V2.pdf](http://www.history.army.mil/faq/horizon/Horizon_V2.pdf)>, 09/2016) e del progetto sovietico *Zvezda* (<<http://www.tvroscosmos.ru/3393/>>, 09/2016), entrambi degli anni Sessanta, in piena corsa alla conquista dello spazio. Sull'importanza strategica della Luna vd. cap. 1.



## CAPITOLO 7

### STUDIO IN LABORATORIO SULLA COMPLESSITÀ DEL FENOMENO BELLICO SPAZIALE

Unterschätzen wir dies nicht: wir selbst,  
wir freien Geister, sind bereits eine  
„Umwerthung aller Werthe“, eine leibhafte  
Kriegs- und Siegs-Erklärung an alle alten  
Begriffe von „wahr“ und „unwahr“. Die  
werthvollsten Einsichten werden am  
spätesten gefunden; aber die werthvollsten  
Einsichten sind die Methoden.

[F.W. Nietzsche, *Der Antichrist*, XIII]

Il contributo per la costruzione di una strategia dello spazio nasce qui dagli effetti del suo uso militare per attività negli altri ambienti operativi. Come sostenuto precedentemente, la linearità del fenomeno bellico spaziale si scontra con il caos del fenomeno bellico in generale. La distribuzione dell'intelligenza conduce a una re-definizione del rapporto tra dispositivo satellitare e azione auto-sincronizzata sul campo di battaglia, in definitiva tra uomo e macchina. Qui verranno proposti tre prospettive di analisi di tale rapporto e si cercherà di trovare uno (anzi tre) spiraglio per comprendere l'incertezza del fenomeno bellico, spiragli e insieme tentativi alternativi e visioni complementari dell'interazione tra assetto spaziale e singolo soldato.

#### 7.1 *Antagonismo o duplice identità?*

La prospettiva di gestione di una maggior mole di informazioni da parte del singolo soldato nella fase di esecuzione decentralizzata del comando e del ruolo net-centrico, di sistema di sistema, dell'architettura spaziale dà nuova linfa alla definizione del processo di trasferimento dati come sistema complesso adattivo, che non deve essere limitato alla natura della NCW di

Capacità di vantaggio informativo nelle operazioni che genera un aumento delle capacità *combat* dovuto alla formazione di una rete [*network*] di sensori, decision-makers e esecutori finali fino al raggiungimento di una consapevolezza condivisa, di un'accelerazione dei tempi di comando, della tempistica delle operazioni, di una maggiore letalità, di maggiori capacità di sopravvivenza e di un certo livello di auto-sincronizzazione<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> D.S. Alberts, J.J. Garstka, F.P. Stein, *Network-Centric Warfare: Developing and Leveraging Information Superiority*, CCRP, Washington DC 2000 (II ed.), p. 2.

Sulla teoria della complessità come comprensione del sistema informativo net-centrico nelle *res militaria*, così Cebrowsky come riportato da Bousquet:

Le operazioni military sono enormemente complesse, e la teoria della complessità suggerisce che tali imprese si organizzano meglio secondo un approccio *bottom-up*. Tradizionalmente, comunque, i comandi militari si sforzano di ottenere una sincronizzazione diretta del comando *top-down* per raggiungere il livello richiesto di massa e fuoco al punto di contatto con il nemico. Dal momento che ogni elemento di forza ha un unico ritmo operativo, e che errori di movimento consumano vanamente capacità *combat*, lo scontro a livello operative è ridotto a piccole funzioni, che richiedono tempo e concedono opportunità all'avversario. Dopo l'impegno iniziale, ecco una pausa operativa, poi il ciclo riparte. All'opposto, le organizzazioni *bottom-up* producono l'auto-sincronizzazione, all'interno della quale la piccola funzione diviene una curva regolare e il combattimento si muove su un *continuum* ad alta velocità. Il ciclo delle azioni di Osservare-Orientare-Decidere-Agire (OODA) sembra così scomparire e al nemico viene negata la pausa operativa<sup>2</sup>.

Complessità e non linearità come pilastri della costruzione del fenomeno bellico denotano il sistema di trasmissione satellitare e aereo-spaziale dei dati, nella forza NEC tanto ricercata nell'evoluzione odierna delle forze armate<sup>3</sup>, come un vero e proprio organismo, in cui le parti operano nel tutto e in cui il tutto, aristotelicamente, è più della somma delle parti. L'interazione con l'ambiente, inevitabile in contesti di confronto-scontro, connota il sistema complesso di trasmissione come sovrapponibile alla definizione di sistema complesso adattivo (CAS), ovvero, ancora una volta, di «un sistema aperto, formato da numerosi elementi che interagiscono fra loro in modo non lineare e che costituiscono una entità unica, organizzata e dinamica, capace di evolvere e adattarsi all'ambiente»<sup>4</sup>.

Sulla non linearità della guerra, la complessità del fenomeno bellico descritto da Clausewitz depono le proprie armi nell'ambiente spaziale con le limitazioni appena descritte – mancanza del fattore umano, attrito (errore umano), interazione e caso (vd. cap. 6) –, ma è nel modo in

<sup>2</sup> A.K. Cebrowski, J.J. Gartska, *Network-Centric Warfare: Its Origins and Future*, *Proceeding*, US Naval Institute, gennaio 1998, in A. Bousquet, *The Scientific Way of Warfare. Order and Chaos on the Battlefields of Modernity*, Columbia University Press, New York 2009, p. 223.

<sup>3</sup> Sul futuro della dottrina net-centrica, vd. <[http://dodcio.defense.gov/Portals/0/Documents/DT-03-DS-COI-NC-Ops-rev\\_20140408.ppt](http://dodcio.defense.gov/Portals/0/Documents/DT-03-DS-COI-NC-Ops-rev_20140408.ppt)> (09/2016).

<sup>4</sup> A. Gandolfi, *Formicai, imperi, cervelli. Introduzione alla scienza della complessità*, Bollati-Boringhieri, Torino 1999, p. 19.

cui l'ambiente spaziale mostra la sue potenzialità di effetto moltiplicatore degli altri ambienti operativi, nel tentativo cioè di rendere completo e lineare il processo informativo spazio-terra, in altre parole di abbattere la complessità, che la teoria del generale prussiano impone la sua *chaoplexity*. A dimostrazione di tale affermazione, i supporti teorici dalla cosiddetta epistemologia della complessità nel suo rapporto con l'azione vengono in soccorso del tentativo qui preposto di indagare l'unità, la congiunzione dell'uno e del molteplice (*unitas multiplex*), di esaminare il sistema dell'infrastruttura spaziale nel segmento terrestre, come metafora di sistema termodinamico soggetto a entropia. Così, infatti, Edgar Morin, dando l'impressione di parafrasare Clausewitz, definisce il concetto di «azione» e di «strategia»:

L'azione è strategia. La parola strategia non indica un programma predeterminato che è sufficiente applicare *ne varietur* nel tempo. La strategia consente, muovendo da una decisione iniziale, di ipotizzare un certo numero di scenari per l'azione, scenari che potranno essere modificati secondo le informazioni che arriveranno nel corso dell'azione e secondo le alee che sopraggiungeranno e perturberanno l'azione. La strategia combatte contro il caso e cerca l'informazione<sup>5</sup>.

L'utilizzo dell'informazione attraverso una distribuzione di questa alle singole entità, nella condivisione dei dati, crea nello stadio finale un'intelligenza distribuita e una *shared awareness* tra le singole componenti apoteosi dei principi cardine della auto-sincronizzazione e del «comportamento emergente», inteso qui come perturbazione da cui scaturisce l'auto-rganizzazione<sup>6</sup>.

Dover far fronte a una notevole mole di informazioni, entrare nella loro semantica, comprendere la pioggia spaziale di un numero considerevole di algoritmi sono le caratteristiche dell'azione strategico-operativa futura<sup>7</sup>. Quanto tale cambiamento vada compreso in ottica di lotta tra ordine e disordine del fenomeno bellico e rifugio al margine del caos di fronte alla perturbazione (*C2 Edge*, vd. cap. 5), nel tentativo di abbattere attrito e caos nel segmento terrestre, in un contrasto spazio-terra, è il frutto speculativo dell'indagine del fenomeno nelle tre caratteristiche proposte:

<sup>5</sup> E. Morin, *Introduzione al pensiero complesso*, Sperling & Kupfer, Milano 1993, pp. 79-80 (il corsivo presente nell'originale nell'edizione italiana).

<sup>6</sup> M. Gell-Mann, *Il quark e il giaguaro. Avventure nel semplice e nel complesso*, Bollati Boringhieri, Torino 1996, p. 124.

<sup>7</sup> R. Segura, *Standard for Military Satcom Ground Segment*, ESA Ground Segment Technology Workshop, Noordwijk, 5-6 giugno 2008, <[http://telecom.esa.int/telecom/media/document/Session5a\\_Segura.pdf](http://telecom.esa.int/telecom/media/document/Session5a_Segura.pdf)> (09/2016).

- a livello cognitivo, nella microfisica<sup>8</sup> nell'azione di ogni singola entità-individuo che si trova a far fronte alla mole del sistema informativo spazio-terra in situazioni *C2 Edge* come componente del sistema;
- a livello intermedio (interazione tra le parti), nella simulazione del sistema attraverso *software* usati nel *data intelligence* e nell'addestramento delle forze armate, ovvero nella preparazione di queste all'incertezza;
- a livello sistemico, nel processo di auto-organizzazione come emersione di comportamento coerente e sviluppo di un sistema di intelligenza artificiale distribuita paragonato ai sistemi degli insetti sociali, in particolare delle formiche.

Tre prospettive che si inseriscono anche esse nella tradizione degli studi sulla complessità e, insieme, degli Studi Strategici. La prima, infatti, prende forma dal campo della neuroscienza cognitiva e, in particolare, dal legame tra intelligenza artificiale, evolutiva e ascendente dei lavori di Luc Steels sul linguaggio delle macchine e sull'evoluzione di quello umano<sup>9</sup>. Dal lato degli Studi Strategici, essa farà riferimento all'emergere di un nuovo concetto all'interno del settore difesa corrispondente alla parola inglese *agility* in riferimento non solo alla manovrabilità tattica ma anche al rapporto sempre più stretto e integrativo tra la semantica umana (soldato) e la semantica della macchina (satellite) nel fenomeno bellico<sup>10</sup>. La simulazione è entrata, invece, nel settore a partire dagli anni Settanta con l'era computerizzata, come mezzo di previsione e addestramento delle forze armate (senza contare la presenza dei giochi tipo *Kriegspiel* nel campo della tattica)<sup>11</sup>. Nella teoria della complessità la simulazione dei sistemi complessi adattivi è una mezzo largamente usato per dimostrare l'emersione di un comportamento complesso da regole semplici. E i lavori di alcuni ricercatori come Robert Axelrod nelle Relazioni Internazionali, pur semplificando il quadro di insieme, non

<sup>8</sup> L'uso del termine microfisica è stato il frutto di un voluto riferimento al mondo della fisica, che, in generale, pervade l'intero lavoro di Tesi, e dei quanti, in particolare, in riferimento alla circolarità dell'azione della singola entità del soldato, figlia e genitrice di informazioni e dati che piovono e risalgono nei dispositivi satellitari, rendendo tale prospettiva molto simile all'idea di microfisica utilizzata nella descrizione del potere reticolare in Foucault (M. Foucault, *Microfisica del potere. Interventi politici*, a cura di A. Fontana e P. Pasquino, Einaudi, Torino 1977 [II ed.]).

<sup>9</sup> Per una visione di insieme dei lavori di Luc Steels si consiglia il seguente link <<https://ai.vub.ac.be/members/steels>> (09/2016).

<sup>10</sup> <[http://www.army.mil/article/90022/ARCYBER\\_working\\_to\\_build\\_joint\\_info\\_environment/](http://www.army.mil/article/90022/ARCYBER_working_to_build_joint_info_environment/)> (09/2016).

<sup>11</sup> Il *Kriegspiel* è una variante del gioco degli scacchi per la strategia usata a partire dal XVIII secolo dalle forze armate prussiane e perfezionato nel XIX secolo dal barone Von Reisswitz. Cfr. R.D. Specht, *War Games*, RAND Corporation, Santa Monica 1957, <<http://www.spiegel.de/netzwelt/spielzeug/kriegsspiel-wie-preussische-militaersden-rollenspiel-ahnen-erfanden-a-625745.html>> (09/2016).

rinunciano alla essenzialità del comportamento emergente analizzato<sup>12</sup>. L'analisi dello *swarming*, dello sciame o stormo, è diventata una chiave di comprensione per la moderna conduzione dei conflitti<sup>13</sup>, mentre la teoria della complessità analizza l'auto-organizzazione degli insetti sociali per determinarne il ruolo nei processi evolutivi e nelle dinamiche di apprendimento della condotta (e comando) migliore da seguire, tema degli studi di Jean-Louis Deneubourg<sup>14</sup>.

### 7.2 Tentativo n. 1. Microfisica e semantica della macchina, o i *sensus agiliores* della realtà aumentata come primo passo dell'integrazione di questa con l'uomo

La riemersione del fattore umano comporta un nuovo rapporto con la macchina. Nella complessità del campo di battaglia divenuto digitale, ovvero in cui i flussi di dati e di sensori sono i colori e i contorni del paesaggio, l'interazione con sistemi di comando remoto, che a loro volta interagiscono con satelliti in orbita LEO o GEO, e con i dispositivi satellitari stessi è la condizione necessaria per la conduzione di qualsiasi conflitto, sia simmetrico che asimmetrico, e trova la propria massima espressione e realizzazione nella dottrina net-centrica<sup>15</sup>.

I benefici reali di un'infrastruttura spaziale e della rete di trasmissione si evidenziano nella capacità di superare le limitazioni del Comando gerarchico, rendendo il paradigma della catena di Comando più marcatamente decentralizzato (nell'esecuzione) di fronte alla complessità dell'ambiente in cui si opera. Così il fisico Yaneer Bar-Yam sulla complessità dei conflitti militari e la distribuzione del Comando:

Un'applicazione dell'idea di un profilo complesso è comprendere i limiti del comando gerarchico. La chiave di tale comprensione è che ogni individuo possiede una limitata complessità. In particolare, un individuo è limitato nelle abilità di elaborazione e comunicazione delle informazioni

<sup>12</sup> Gell-Mann, *Il quark e il giaguaro. Avventure nel semplice e nel complesso*, cit., pp. 352 ss. Sui lavori del professore Robert Axelrod si consiglia: R. Axelrod, *The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Cooperation*, Princeton University Press, Princeton 1997; R. Axelrod, M.D. Cohen, *Harnessing Complexity: Organizational Implications of a Scientific Frontier*, Free Press, New York 1999.

<sup>13</sup> S.J.A. Edwards, *Swarming and the Future of Conflict*, RAND Corporation, Santa Monica 2005; A.D. Campen, *Swarming Attacks Challenge Western Way of War*, AFCEA, aprile 2001, <<http://www.afcea.org/content/?q=swarming-attacks-challenge-western-way-war>> (09/2016); T. McCoy, *The battle for Kobane and the Islamic State's 'swarm' war strategy*, «The Washington Post», 8 ottobre 2014.

<sup>14</sup> Su tutti degni di nota sono i lavori di Jean-Louis Deneubourg. Cfr. R. Benkirane, *La Teoria della Complessità*, Bollati Boringhieri, Torino 2007, pp. 76-92.

<sup>15</sup> Cfr. R.S. Deakin, *Battlespace Technologies: Network-Enabled Information Dominance*, Artech House, Norwood 2010.

con altri attori (larghezza di banda). In una gerarchia ideale, solo il singolo capo dell'organizzazione può coordinare le più grandi unità organizzate a cui i comandanti sono direttamente sottoposti. Il coordinamento tra queste unità non può essere maggiore della complessità del capo. Più genericamente, si può affermare nella misura che ogni singolo essere umano è responsabile per le parti coordinate di un'organizzazione, i comportamenti coordinati dell'organizzazione saranno limitati alla complessità del singolo individuo. Dal momento che i comportamenti coordinati sono relativamente su larga scala, di conseguenza c'è un limite alla complessità dei comportamenti su una scala ancora più larga dell'organizzazione. Quindi, l'uso del comando gerarchico è efficace nell'amplificare la scala di comportamento, ma non la sua complessità. All'opposto, una struttura di rete (come il cervello umano) può avere una complessità maggiore di quella del singolo elemento (neurone). Mentre una rete arbitraria, artificiale, non ha necessariamente una complessità maggiore di quella del singolo componente, ne è comunque possibile l'esistenza. Per compiti ad alta complessità, si considera dunque i sistemi gerarchici inadeguati e ci si insidira verso strutture di rete per prestazioni efficaci. Infatti, il limite fondamentale della complessità delle organizzazioni gerarchiche implica l'impossibilità di compiere compiti altamente complessi. La recente tendenza del controllo distribuito nella gestione aziendale suggerisce che la complessità del nostro Sistema socio-economico è talmente elevata che il controllo gerarchico risulta inefficace nel mondo moderno. Questo è anche il caso della guerra moderna complessa. L'enfasi sull'idea di *network* in guerra all'interno nel pensiero militare corrente riflette il riconoscimento dei limiti del controllo gerarchico in tale contesto<sup>16</sup>.

### 7.2.1 Essere *agilis*

I cambiamenti delineati dal collegamento dei dispositivi spaziali o aereo-spaziali di trasmissione dati e le prospettive di un diluvio (aumento quantità, velocità e diversità) di informazioni che, al di fuori di ogni metafora, pioveranno dallo spazio, attribuiscono alle funzioni di Comando e Controllo, sino al singolo soldato, un nuovo attributo, figlio al tempo stesso dell'età informatica e delle infrastrutture fisiche e racchiuso nel significato che sottende al termine inglese *agility*<sup>17</sup>. Un'ispezione etimologica accurata permette di fare più agevolmente riferimento al latino *agilis* nell'accezione della prontezza nel fare qualcosa, come componente

<sup>16</sup> Y. Bar-Yam, *Complexity of Military Conflict: Multiscale Complex Analysis of Littoral Warfare*, New England Complex Systems Institute, 2003, p. 8.

<sup>17</sup> Nella difficoltà e nell'imbarazzo della scelta di ogni traduzione possibile, si è preferito lasciare l'originale inglese da D.S. Alberts, *The Agility Advantage. A Survival Guide for Complex Enterprises and Endeavors*, CCRP, Washington DC, settembre 2011.

discriminante e propria dell'attore che agisce (il riferimento implicito ai *sensus agiliores* della lettera V – 74, libro VIII, *Ad Lucilium* di Seneca è immediato<sup>18</sup>).

Con tale parola va intesa la qualità di essere capace di cambiare forma prontamente al mutare delle circostanze, abilità non solo della sfera individuale, bensì collettiva e organizzativa, di far fronte (*to cope*<sup>19</sup>) a questioni annose o semplici che possono trasformarsi in veri e propri problemi determinanti. Essere *agilis* implica anche l'abilità di effettuare, fronteggiare e sfruttare con successo possibili cambiamenti delle circostanze<sup>20</sup>, una vera e propria riscoperta della *metis*, dell'immagine dell'Ulisse che cavalca le onde, 'surfa', sopravvivendo aggrappato alla sua zattera, per ricordare Jullien<sup>21</sup>. In tale prospettiva, la presenza di uno sforzo con un determinato fine o obiettivo, ovvero un vantaggio strategico da acquisire tramite il successo di un'azione o delle operazioni, in generale, è il necessario presupposto affinché tale termine abbia ragione di essere richiamato.

La dinamicità e la mutevolezza dell'ambiente comportano una serie di cambiamenti, sia esogeni che endogeni, tali da essere in grado o meno di causare o proiettare livelli meno soddisfacenti di efficacia o di efficienza delle azioni o tali da creare opportunità che, se sfruttate, causerebbero un significativo cambiamento dell'efficacia o dell'efficienza delle azioni compiute. Il riconoscimento di tali cambiamenti, a livello cognitivo, nella sfera del Comando e del Controllo e nell'esecuzione decentralizzata del comando implica, così, da un lato, la riduzione dell'incertezza, che vede nelle infrastrutture e in quel sistema dei sistemi presentato nel capitolo precedente l'apogeo della sua essenza, e, dall'altro, la capacità, sulla base dei dati, di prevedere situazioni di cambiamento futuro e di agire di conseguenza.

Tale abilità, che si manifesta come differenza tra scenario presente in quanto tale e abilità potenziale come stima del modo in cui le entità risponderanno a inaspettati cambiamenti futuri, diventa la variabile indeterminata dall'impatto relativo di approcci, scelte o processi alternativi<sup>22</sup>.

<sup>18</sup> «Summum bonum in animo contineamus: obsolescit, si ab optima nostri parte ad pessimam transit et transferetur ad sensus, qui agiliores sunt animalibus mutis» ('il sommo bene è contenuto e va ricercato nell'interiorità dell'anima e perde il suo valore se noi lo si passa dalla parte migliore alla parte peggiore di noi stessi, cioè dall'anima ai sensi, che sono più vivaci negli animali privi di favella'). L.A. Seneca, *Lettere a Lucilio*, testo latino a fronte e versione di B. Giuliano, Zanichelli, Bologna 1966, Libro VIII, lettera V (74), pp. 116-119.

<sup>19</sup> Alberts, *The Agility Advantage*, cit., p. 189 e nota relativa n. 101.

<sup>20</sup> Ivi, p. 190.

<sup>21</sup> F. Jullien, *Pensare l'efficacia in Cina e in Occidente*, Laterza, Roma-Bari 2008, pp. 14 ss.

<sup>22</sup> Alberts, *The Agility Advantage*, cit., pp. 198-199.

Le sei caratteristiche dell'essere *agilis* nella sfera decisionale del campo di battaglia possono essere così racchiuse nelle seguenti proprietà: capacità di risposta, versatilità, flessibilità, resilienza, capacità di innovarsi e di innovazione, adattabilità dei sensi, coordinamento, raccolta dati<sup>23</sup>.

La capacità di risposta è il tempo necessario per identificare, verificare, rispondere o anticipare un cambiamento delle circostanze. Questa può avere un impatto negativo sulla riuscita delle operazioni, ovvero sullo sfruttamento al meglio della situazione e sull'opportunità di diminuire i rischi e aumentare i vantaggi da tale sfruttamento. Si tratta della necessità di velocità di risposta tenuto conto della pianificazione strategica, del volume e della quantità di dati e del *sensemaking*<sup>24</sup>, come somma di processi informativi, analisi e capacità di risoluzione delle problematiche, tra cui vincere l'inerzia e l'attrito del caos nel campo di battaglia.

Essere versatili vuol dire, invece, permettere alle singole entità di raggiungere un accettabile livello di efficacia, la quale dipende strettamente dalle circostanze da affrontare, dalla mutevolezza di queste e dalla conseguente capacità di pensare ai possibili indirizzi e azioni. Allo stesso tempo ma con una diversa sfumatura, essere flessibili identifica la risposta al mancato raggiungimento dell'obiettivo, o semplicemente dell'*output* prefissato, se si considera il processo decisionale C2 come una *black box* à la Easton<sup>25</sup>. La flessibilità può essere esaltata da risultati dannosi o situazioni complesse, come mancanza di informazioni sufficienti, percezioni sbagliate<sup>26</sup>, o da risposte inaspettate dell'avversario. La considerazione delle possibili alternative e la loro pianificazione consistono entrambe nella scelta di usare in modi differenti la propria capacità di forza disponibile.

La capacità di una singola entità di superare il cambiamento di qualsiasi genere esso sia, ma che comunque produca un danno alla struttura o al singolo stesso, identifica la resilienza come inevitabile frutto della complessità, che si manifesta nel riparare, ricostruire e ricostituire, in parte o *in toto*, tale perdita.

Capacità di rinnovarsi e di innovazione consiste nel permettere all'entità di rigenerare o sviluppare una nuova tattica o una nuova modalità di raggiungimento degli obiettivi, anche per mezzo di innovazioni tec-

<sup>23</sup> Ivi, pp. 203 ss. Per alcune applicazioni di tali caratteristiche vd. W. Mitchell, *Three C2 Models for Military Agility in 21<sup>st</sup> Century*, Royal Danish Defense College, Copenhagen, novembre 2012.

<sup>24</sup> Cfr. E. Jensen, *How to Operationalize C2 Agility*, 17th ICCRTS "Operationalizing C2 Agility", Fairfax, 19-21 giugno 2012, p. 7.

<sup>25</sup> Cfr. D. Easton, *A Systems Analysis of Political Life*, Wiley, New York 1965.

<sup>26</sup> Sull'azione di una cattiva percezione della realtà in contesti di gruppo si consiglia: R. Jervis, *Perception and Miscreption in International Politics*, Princeton University Press, Princeton 1976.

nologiche.<sup>27</sup> Considerazioni che può apparire a prima vista semplicistica ma richiede una struttura adeguata e capace.

Adattabilità dei sensi risiede nella comprensione dei cambiamenti e l'adattamento della struttura organizzativa e della catena di Comando, le quali concedono alla fase di esecuzione decentralizzata una maggiore capacità di autonomia affinché sia presente la forza di affrontare le complesse e mutate circostanze del conflitto (sul riferimento tutt'altro che metaforico alle opportunità sensoriali si avrà modo di ritornare più avanti).

Infine, mentre coordinare le operazioni è la base stessa della NCW così come una necessità operativa per lo svolgimento delle funzioni di C2 (coordinamento<sup>28</sup>), la raccolta dei dati, e come questi vengono redistribuiti tra le entità anche a livello semantico, rappresenta di per sé una necessaria prerogativa per garantire rapidità di risposta e corretta pianificazione delle operazioni<sup>29</sup>.

Esempio di come agiscono in sinergia tali funzioni è l'attività di *intelligence* di I&W (*Indications and Warnings*)<sup>30</sup>, che si concentra sulla tempestiva e sul vantaggio temporale resi possibili dalla geo-localizzazione degli eventi. Non solo la raccolta dati diventa cruciale in tali attività, ma vengono richiamate anche abilità di analisi e condivisione affinché venga dato un senso e un indirizzo corretto ai dati stessi. La determinazione del successo attraverso l'accurata previsione degli eventi, e della pianificazione, risente dei processi informativi necessari e del sistema di gestione dei dati quanto mai legato alla capacità di innovazione e rinnovamento sia al cambiamento della scelta dei parametri al mutare delle circostanze sia al piegare le innovazioni tecnologiche a proprio esclusivo vantaggio, mentre la resilienza e la flessibilità permettono di cercare uno spiraglio di luce nella folta nebbia della complessità anche in situazioni che vanno in direzione diversa da quanto previsto. In tal senso, si configura non solo una sinergia tra le componenti dell'essere *agilis*, ma una vera e propria interdipendenza<sup>31</sup>.

### 7.2.2 *Combat cloud*

Sembra ricalcare tali caratteristiche anche il concetto di condivisione dati per aumentare l'auto-sincronizzazione e gli effetti combinati dei si-

<sup>27</sup> *Innovativeness*. Alberts, *The Agility Advantage*, cit., p. 218.

<sup>28</sup> Jansen, *How to Operationalize C2 Agility*, cit., p. 8.

<sup>29</sup> Caratteristica aggiuntiva ad opera dell'autore.

<sup>30</sup> Cfr. R. Johnston, *Analytical Culture in US Intelligence Community. An Ethnographic Study*, CIA, Center for the Study of Intelligence, Washington DC 2005, cap. 9; *Intelligence Officer's Handbook*, CIA, Washington DC, gennaio 2010, pp. 100 ss.; R.M. Clark, *Intelligence Analysis: A Target-Centric Approach*, CQ Press, Washington DC 2004, cap. 4.

<sup>31</sup> Alberts, *The Agility Advantage*, cit., p. 221.

stemi d'armi nei vari ambienti operativi ben descritto dal generale USAF David A. Deptula nel binomio *combat cloud*. Il legame si riferisce alla stessa *operational agility*, nel suo inquadramento verso la massimizzazione e l'ottimizzazione di capacità tecnologiche distribuite e nella modularità (altro concetto preso a prestito dell'informatica), ovvero nell'implementazione dei componenti del sistema (aventi le caratteristiche dello stesso e, in tal senso, 'ologrammi'<sup>32</sup>), che operano in maniera tra loro indipendente, ma che sono connessi ad esso<sup>33</sup>.

L'intento di aumentare il delta moltiplicatore e di compensare le vulnerabilità delle singole entità nei domini di spazio, aria, terra e mare, è indice di una prospettiva d'uso degli sviluppi tecnologici per condurre operazioni "altamente" interconnesse e distribuite («to conduct highly interconnected, distributed operations»<sup>34</sup>): da un approccio isolato, ben descritto dal termine inglese *stovepiping*, in cui la raccolta dati e le operazioni vengono effettuate in maniera distinta («types of collection that are managed so as to be largely distinct from one another»<sup>35</sup>), a un'integrazione complementare delle capacità in un singolo e combinato sistema d'arma per condurre operazioni disaggregate ma interconnesse, distribuite ma condivise, su un'area operativa fluida, liquida, alle cui caratteristiche è necessario adattarsi.

Un *war fighting 'complex'* che si articola in raccolta dati e trasmissione alle parti al fine di utilizzare tali informazioni per le operazioni, le quali singole parti hanno, a loro volta, capacità trasmissive, definite, appunto, con un termine preso a prestito dalla cibernetica, *combat cloud*, ovvero come cambiamento di un modo ampio di pensare la guerra non più come singola azione isolata ma nel complesso, e nella complessità del sistema, nella concatenazione e nella convergenza delle azioni e nell'unione delle capacità difensive e offensive, per una sinergia degli armamenti e dei domini operativi.

L'idea del *combat-cloud* è qualcosa di analogo al *cloud computing*, il quale si basa sull'uso della rete (es. internet) per condividere le informazioni in maniera rapida in una rete di reti altamente distribuita, auto-evolutiva e autonoma [*auto-compensating*]. Comunque, invece di combinare il potere informatico di server multipli, il *combat cloud* unisce le capacità

<sup>32</sup> Sul principio ologrammatico, vd. E. Morin, *Il Metodo. Ordine, Disordine, Organizzazione*, Feltrinelli, Milano 1992 (I ed. 1983), pp. 186 ss.

<sup>33</sup> Lt. Gen. D.A. Deptula, USAF, *A New Era for Command and Control of Aerospace Operations*, «Air & Space Journal», luglio-agosto 2014, pp. 5-16, p. 15.

<sup>34</sup> R. Laird, *The Next Phase of Air Power: Crafting and Enabling the Aerospace Combat Cloud*, intervista con D.A. Deptula, *Second Line of Defense – SLD*, 23 febbraio 2014.

<sup>35</sup> *Overview and Summary*, cap. 1, *IC21: The Intelligence Community in the 21st Century*, Staff Study Permanent Select Committee on Intelligence House of Representatives One Hundred Fourth Congress, 1996.

di combattimento di sistemi d'arma utilizzando la rete C2 e ISR per lo scambio rapido di dati provenienti da qualsiasi fonte di qualsiasi architettura di ogni ambiente operative di sensori e armament al fine di aumentare l'efficacia e conseguire economie di scala<sup>36</sup>.

I moderni sistemi d'arma come gli aerei da combattimento di quinta generazione (es. F-35) non possono essere considerati semplicemente come bombardieri, come *fighters*, ma come *sensors-strikers*, la cui raccolta dati, digitalizzando il campo di battaglia, deve essere raccolta e condivisa in maniera decentralizzata<sup>37</sup>. Tuttavia, capacità di immagazzinare e trasmettere otto milioni di righe di codice (*lines of code*)<sup>38</sup>, più di quattro volte superiore alle capacità del primo aereo cosiddetto di quinta generazione (F-22 Raptor)<sup>39</sup>, rendono necessarie capacità di fusione e di scelta dei dati, un'intelligenza *in nuce* della macchina stessa. Fusione che non dovrà riguardare solo il volume ma anche la semantica, per evitare il temuto effetto torre di Babele, attraverso una predefinitone del linguaggio per rendere il sensore, il *software* e l'attività umana comprensibile e uniforme<sup>40</sup>. La questione non si limita solo a considerazioni di carattere tecnico dei sistemi aerei di quinta generazione. La digitalizzazione del futuro campo di battaglia conterrà fino a centoquattordici milioni righe di codice<sup>41</sup>, la maggioranza delle quali passerà attraverso i dispositivi satellitari<sup>42</sup> (si tenga presente che per il satellite Skynet 5, ad esempio, possono essere considerate fino a due milioni di righe di codice)<sup>43</sup>.

<sup>36</sup> Lt. Gen. D.A. Deptula, USAF, *A New Era for Command and Control of Aerospace Operations*, cit., p. 11.

<sup>37</sup> <<http://www.lockheedmartin.com/us/products/f35.html>> (09/2016).

<sup>38</sup> La riga di codice è un metodo di analisi della metrica di un *software* e della sua 'complessità' attraverso il conteggio di righe del codice, basato sul codice IL (in linea), istruzioni di linguaggio macchina, inserite nel codice sorgente di alto livello, ovvero con enunciati comprensibili agli esseri umani, che variano da compilatore a compilatore, e «non corrisponde perciò al numero esatto di righe nel file di codice sorgente. Un conteggio molto alto potrebbe indicare che un tipo o metodo sta tentando di fare troppo lavoro e deve essere suddiviso. Potrebbe anche indicare che il tipo o il metodo potrebbe essere di difficile gestione». Vd. <<https://msdn.microsoft.com/it-it/library/bb385914.aspx>> (09/2016).

<sup>39</sup> <<https://www.f35.com/about/life-cycle/software>> (09/2016).

<sup>40</sup> M. Winne, SECAF, *21st Century Warfare: The Combat Cloud*, AFA – Air & Space Conference and Technology Exposition, Washington DC, 15 settembre 2014.

<sup>41</sup> Cfr. GAO – United States Government Accountability Office, *Defense Acquisition Issues to be Considered for Army's Modernization of Combat Systems*, 2009, p. 5.

<sup>42</sup> M. King, M.J. Riccio, *Military Satellite Communications: Then and Now*, «Aerospace», dicembre 2013.

<sup>43</sup> <[http://www.space-airbusds.com/en/press\\_centre/skynet-5c-satellite-ready-for-launch-on-30-may.html](http://www.space-airbusds.com/en/press_centre/skynet-5c-satellite-ready-for-launch-on-30-may.html)> (09/2016).

### 7.2.3 Realtà aumentata e cyborg experience

Le informazioni non sono più destinate solamente al centro operativo, ma saranno sempre di più a disposizione di ogni singolo soldato o entità sul campo per aumentare vantaggio informativo, auto-sincronizzazione e effetto combinato delle operazioni. In tale direzione va il nuovo programma DARPA *ULTRA-Vis* (*Urban Leader Tactical, Response, Awareness, and Visualization*) sulla realtà aumentata (*Augmented Reality, AR*) nella tattica, a livello del singolo soldato.

La realtà aumentata è la visione del reale mediata dall'elaboratore, dalla macchina (visore), che arricchisce la percezione sensoriale umana mediante informazioni, che altrimenti non sarebbero percepite dai cinque sensi<sup>44</sup>. La riconfigurazione delle abilità umane, che seguendo l'analisi proposta da Coker è una delle tre strade della *cyborg experience* insieme alla restaurazione di capacità perdute e al rafforzamento di alcune caratteristiche dell'uomo (es. forza muscolare), sembra ripercorrere un progetto corrente della NASA, a conferma dell'ipotesi iniziale dell'ambiente spaziale anche come placenta dell'innovazione tecnologica, denominato *The Extension of the Human Senses*. Tale progetto ha come scopo il dialogo uomo-macchina nel *data streaming* grazie a integrazioni di supporti per tele-operazioni (operazioni a comando remoto), sub-vocalizzazione elettronica, adattamento automatizzato dell'interfaccia di comunicazione, cabina di comando e console virtuale, telepresenza e tele-operazioni in casi di ritardo comunicativo per facilitare le operazioni nello spazio<sup>45</sup>. Applicata in contesti di conflitto tale possibilità aumenterebbe esponenzialmente la SA del campo di battaglia del singolo soldato, il quale potrebbe persino, e non è un eufemismo, avere più informazioni riguardo al proprio avversario dello stesso, «they will know much more about the neighbourhood than the neighbours»<sup>46</sup>.

Il primo passo del programma *ULTRA-Vis* è l'applicazione di un sistema di realtà aumentata, prodotto dall'ARA (*Advanced Research Associates*), con il *software ARC*<sup>47</sup>, ovvero un visore posto sull'elmetto, sul

<sup>44</sup> Cfr. M. Graham, M. Zook, A. Boulton, *Augmented Reality in Urban Places: Contested Content and the Duplicity of Code*, *Transaction of the Institute of British Geographers*, maggio 2012, pp. 464-479; oppure vd. il sito in italiano dedicato agli sviluppi di tale tecnologia: <<http://www.realta-aumentata.it/>> (09/2016).

<sup>45</sup> <[http://www.nasa.gov/centers/ames/research/technology-onepaggers/human\\_senses.html](http://www.nasa.gov/centers/ames/research/technology-onepaggers/human_senses.html)> (09/2016).

<sup>46</sup> C. Coker, *Warrior Geeks. How 21st Century Technology is Changing the Way We Fight and Think About War*, Columbia University Press, New York 2013, p. 212.

<sup>47</sup> Il *software* inizialmente installato sul sistema computerizzato indossabile della BAE Systems *Q-Warrior* ha un costo di circa 6000 dollari per ciascun visore. Cfr. D. Parsons, *Augmented Reality Can Better Inform Troops*, «National Defense Magazine», settembre 2014, p. 12.

quale pioveranno informazioni geo-localizzate, flussi di dati e flussi di comando per permettere al soldato di eseguire il comando a testa alta e con il dito sul grilletto (*finger-on-the-trigger*)<sup>48</sup>. Il *software ARC4* consente allo stesso soldato di inviare informazioni localizzate (si sta verificando a proposito un tentativo di miglioramento della tecnologia del GPS, sfruttando la posizione dell'elmetto rispetto al sole<sup>49</sup>), di eseguire, cioè, il proprio *data streaming*<sup>50</sup>: in altri termini, di far parte di quel sistema di *combat cloud* necessario per condurre le operazioni in maniera distribuita e di aumentare l'effetto moltiplicatore di queste. Primo passo della riduzione dell'incertezza sembra dunque essere l'introduzione nel fattore umano all'interno del fenomeno bellico di un sistema in grado di integrare le informazioni dei dispositivi, che cadono letteralmente da infrastrutture spaziali, e i sensori dell'uomo, i suoi sensi, per primo, la vista. Così si è pronunciato in un'intervista il curatore del progetto per l'ARA Dave Roberts:

Possedendo tutte le informazioni davanti ai miei occhi e geolocalizzandole... posso essere consapevole di cosa sta accadendo e prendere decisioni tempestive nelle circostanze in cui regna l'incertezza<sup>51</sup>.

La questione della semantica, la conoscenza del significato dei simboli, e non di sintassi, la capacità di manipolare correttamente i simboli formali, della macchina, del dispositivo, permette di vedere il fenomeno sotto una diversa prospettiva<sup>52</sup>. La comunicazione tra le macchine e la traduzione del linguaggio della macchina comprensibile dall'uomo è il frutto non solo della necessaria fusione dei dati altamente complicati del reale e del campo di battaglia (in tal senso, una piattaforma *cloud* po-

<sup>48</sup> D.S. Robert et al., *Testing and evaluation of a wearable augmented reality system for natural outdoor environments*, *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers*, maggio 2013, p. 1.

<sup>49</sup> Sul *celestial sensing* vd. <[https://www.rockwellcollins.com/Data/Products/Computing/Processing\\_and\\_Mission\\_Computers/Celestial\\_Inertial\\_Precision\\_Pointing\\_System.aspx](https://www.rockwellcollins.com/Data/Products/Computing/Processing_and_Mission_Computers/Celestial_Inertial_Precision_Pointing_System.aspx)> (09/2016).

<sup>50</sup> <<https://www.ara.com/projects/arc4-heads-move-augmented-reality-technology>> (12/2016).

<sup>51</sup> Parsons, *Augmented Reality Can Better Inform Troops*, cit., p. 12.

<sup>52</sup> Sui due significati si rimanda alla metafora proposta dal filosofo John Searle sulla stanza cinese: in una stanza chiusa un individuo (il calcolatore elettronico) trova davanti a sé una serie di scatole contenenti gli ideogrammi cinesi (simboli formali) e un manuale nella propria lingua su come usare tali ideogrammi (programma informatico), contenente regole sintattiche elementi che non implicano la comprensione dell'ideogramma stesso. Delle persone che parlano cinese, poi, rivolgono una serie di domande, alle quali l'individuo, seguendo il manuale, può correttamente rispondere. In questo ipotetico test di Turing, come sottolineato da Searle, i calcolatori sono in grado di manipolare i simboli ma non hanno affatto consapevolezza di ciò che stanno facendo. Cfr. J.R. Searle, *La mente è un programma?*, «Le Scienze», giugno 1990.

trebbe essere la condizione minima), ma principalmente dell'integrazione dei sistemi d'arma automatizzati o semi-automatizzati per realizzare quell'auto-sincronizzazione, ma verrebbe da dire auto-organizzazione, chiave di svolta delle operazioni in situazioni complesse e non-lineari.

*OpenJaus (Joint Architecture for Unmanned Systems)* è un progetto iniziato nel 1998 dal Dipartimento della Difesa statunitense per sviluppare un'architettura per i sistemi terrestri a comando remoto (UGS, *Unmanned Ground System*) che garantisca l'indipendenza della piattaforma del veicolo, l'isolamento di ogni singola missione, l'indipendenza dell'*hardware*, l'indipendenza tecnologica e di uso dell'operatore, in altre parole un sistema gerarchico di comunicazione che garantisca l'interoperabilità<sup>53</sup>, così come lo STANAG 4586 in ambito NATO<sup>54</sup>. Stessa cosa è accaduta per i sistemi marittimi (UMS) con JANUS<sup>55</sup>, mentre per gli UAS e UAV tra i numerosi sistemi basterà ricordare il JHU APL (*Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory*) *Swarming UAS Architecture*<sup>56</sup> e il MIT *and Aurora Flight Sciences Decentralized Autonomous UAV Framework*<sup>57</sup>. Si pone, *prima facie*, il problema di una *koiné* per tutti i veicoli a comando remoto in ogni ambiente operativo, condizione indispensabile per la ricerca di una indipendenza, o anzi inter-dipendenza, dei sistemi robotizzati. Il ruolo dell'uomo di analisi, di comando e di controllo potrebbe perdere il proprio anelito di vita di fronte alla notevole quantità di dati da gestire (fusione) e le prospettive di interoperabilità dei sistemi stessi (integrazione). Il sistema automatizzato dovrebbe comportarsi esso stesso come sistema complesso adattivo in grado di auto-organizzarsi di fronte a un comportamento emergente (e in tale prospettiva spesso è stato paragonato anche tale comportamento sul campo di battaglia a quello degli insetti sociali<sup>58</sup>).

<sup>53</sup> Cfr. D. Gonzalez, S. Harting, *Designing Unmanned Systems with Greater Autonomy Using a Federated, Partially Open Systems Architecture Approach*, RAND Corporation, Santa Monica 2014, pp. 36 ss.

<sup>54</sup> <<http://nso.nato.int/nso/zPublic/stanags/current/4586eed03.pdf>> (09/2016).

<sup>55</sup> <<http://www.januswiki.com/tiki-index.php?page=About+Janus>> (12/2016). È; <[http://www.cmre.nato.int/about-cmre/fact-sheets/doc\\_download/305-communications-and-networks-in-the-maritime-environment](http://www.cmre.nato.int/about-cmre/fact-sheets/doc_download/305-communications-and-networks-in-the-maritime-environment)> (09/2016).

<sup>56</sup> R.J. Bamberger Jr., D.P. Watson, D.H. Scheidt, K.L. Moore, *Flight Demonstrations of Unmanned Aerial Vehicle Swarming Concepts*, «Johns Hopkins APL Technical Digest», XXVII (1), 2006.

<sup>57</sup> J.P. How *et al.*, *Increasing autonomy of UAVs*, «Robotics & Automation Magazine», IEEE, XVI (2), 2009, pp. 43-51.

<sup>58</sup> P.-Y. Oudeyer, *On the impact of robotics in behavioral and cognitive sciences: from insect navigation to human cognitive development*, *IEEE Transactions on Autonomous Mental Development*, dicembre 2009. Sul comportamento sul campo di battaglia, vd. A. Stěfek, *Is the Insect the Future of Robots?*, in *Robot on the Battlefield*, a cura di R. Doaré, D. Danet, J.-P. Hanon, G. de Boissibois, Combat Studies Institute Press, Fort Leavenworth, gennaio 2014, cap. 19, pp. 217-232.

#### 7.2.4 Semantica e intelligenza della macchina

Il visore come traduttore della grammatica del dispositivo e la necessità di una semantica, intesa come interpretazione unificata da macchina a macchina, sono i primi passi di quel processo di sviluppo dell'autonomia e dell'indipendenza della stessa. Non a caso il test di Turing, usato per la verifica della possibilità di pensiero di una macchina, si basa sulla possibilità di non riuscire a distinguere una macchina intelligente dal comportamento di un essere umano pensante e consiste nella capacità di questa di concatenare idee ed esprimerle<sup>59</sup>.

Il comportamento emergente è qualcosa di adattivo e il linguaggio è in continua evoluzione di fronte all'imprevedibilità dell'ambiente in cui il dispositivo automatizzato interagisce<sup>60</sup>. La ricerca di un'intelligenza artificiale (AI, *Artificial Intelligence*) deve partire proprio dal presupposto che mentre nei sistemi biologici la struttura del cervello è al tempo stesso il programma con il quale esso agisce, in altri termini l'*hardware* è il *software*, nei sistemi automatizzati anima e corpo si dividono in maniera netta. Il linguaggio, in tale contesto, è il mezzo per spingere la comprensione del sistema e la soluzione del problema posto in fasi di maggiori complessità. Luc Steels, linguista dedicatosi alla robotica, ha proposto tale visione dell'intelligenza artificiale valutando la capacità robotica di costruzione di un proprio linguaggio di fronte all'incertezza del mondo reale (con l'esperimento *Talking Heads* ha dimostrato tale possibilità dei robot grazie alla formazione semiotica di categorie e sottocategorie in coerenza lessicale<sup>61</sup>). Lo sviluppo di capacità di inventare un proprio linguaggio non deve far venire meno la considerazione generale del presente paragrafo di dipendenza tra intelligenza artificiale e intelligenza umana, ma deve far considerare l'intelligenza come apprendimento, come massima forma di adattamento della struttura all'ambiente. Per riprendere Piaget, il linguaggio ha uno stretto rapporto con lo sviluppo cognitivo dell'infanzia e con l'intelligenza, anzi oltre a esserne il figlio ne è anche genitore, strutturandola a sua volta.

<sup>59</sup> Sul Test di Turing vd. A.M. Turing, *Computing machinery and intelligence*, «Mind», 59, 1950, pp. 433-460.

<sup>60</sup> Tale approccio denominato 'intelligenza ascendente', fondata sull'apprendimento, è stato l'ispirazione nella sua componente senso-motoria del robot inviato su Marte dalla NASA. Vd. <<http://newsoffice.mit.edu/2012/rodney-brooks-venture-0424>> (09/2016).

<sup>61</sup> G. Borensztajn, V. Trehan, *Luc Steels, the Talking Heads Experiment and Cognitive Philosophy. A Tutorial Accompanying the presentation in Current Issue, Part II – The Talking Heads Experiment*, UvA, aprile 2006, <[https://www.academia.edu/1192679/Luc\\_steels\\_the\\_talking\\_heads\\_experiment\\_and\\_cognitive\\_philosophy](https://www.academia.edu/1192679/Luc_steels_the_talking_heads_experiment_and_cognitive_philosophy)> (09/2016).

[...] è evidente che, se il linguaggio si basa su un'intelligenza parzialmente strutturata, esso stesso la struttura a sua volta ed è proprio qui che iniziano i veri problemi, cui non si è ancora trovata soluzione<sup>62</sup>.

La funzione semiotica della rappresentazione di qualcosa attraverso un segno o un simbolo o un altro oggetto nella fusione e integrazione della trasmissione dati permette l'adattamento della macchina stessa all'ambiente, anzi l'unico adattamento possibile nella complessità e nella necessità di operare all'interno del non lineare fenomeno bellico attraverso tante più informazioni (tanto più si conosce) quanto più si agisce nell'imprevedibile. Tale considerazione altro non è che adattamento biologico, direbbe lo stesso Piaget, che trova la sua espressione nell'intelligenza come (ri)organizzazione.

Dire che l'intelligenza è un caso particolare dell'adattamento biologico significa dunque supporre che essa è essenzialmente un'organizzazione e che la sua funzione è quella di strutturare l'universo, così come l'organismo struttura l'ambiente con cui si trova in contatto<sup>63</sup>.

L'ipotesi di uno sviluppo cognitivo dei dispositivi robotici, delle macchine, ad ora, in una sorta di periodo 'pre-operazionale', parrebbe da quanto analizzato essere destinata, scevra da ogni implicazione etica<sup>64</sup>, in una struttura coordinativa con il fattore umano nel fenomeno bellico (apoteosi delle leggi di Asimov<sup>65</sup> e punto di rottura con una certa letteratura *noir* fantascientifica), di cui il visore per la AR ne è la prima manifestazione, mostrare i suoi *sensus agiliores*, più 'agili' dei sensi umani, nella visione, nelle capacità percettive della guerra, nella fusione, nell'integrazione e, quindi, nella diminuzione dell'incertezza. In altre parole, la capacità di linguaggio e di *network* tra le macchine, tra il satellite, l'UAV, l'arma automatizzata e il supporto robotizzato, rappresenta l'infanzia della robotica nel suo processo di assoggettamento alla capaci-

<sup>62</sup> J. Piaget, *Le Structuralisme*, Press Universitaires de France, Parigi 1968, pp. 79-80.

<sup>63</sup> J. Piaget, *Antologia di Scritti*, a cura di P. Tampieri, il Mulino, Bologna 1982, p. 42.

<sup>64</sup> L.G. Weiss, *Autonomous Robots in the Fog of War. Networks of autonomous robots will someday transform warfare, but significant hurdles remain*, «IEEE Spectrum», 27 luglio 2011.

<sup>65</sup> «Prima Legge: Un robot non può recare danno a un essere umano o permettere con l'inazione che un essere umano possa essere danneggiato. Seconda Legge: Un robot deve ubbidire agli ordini degli esseri umani, tranne quando tali ordini entrano in conflitto con la Prima Legge. Terza Legge: Un robot deve proteggere la propria esistenza finché tale protezione non entri in conflitto con la Prima e la Seconda Legge. Manuale di Robotica, 56ª Edizione 2058 d. C.», in I. Asimov, *Io, Robot*, trad. it. di R. Rambelli, Bompiani, Milano 1963.

tà decisionale nell'uomo<sup>66</sup>, del cui colpo d'occhio 'mediato' il fenomeno bellico continua a nutrirsi.

### 7.3 Tentativo n. 2. Simulazione di un modello basato su agente (o su avatar) tramite proposta<sup>67</sup> di integrazione di VBS3 e STK: prepararsi all'incertezza

La simulazione computerizzata (virtuale) di sistemi complessi adattivi, nel caso specifico, del comportamento della singola unità sul campo di battaglia, può risultare un utile mezzo per indagare come possa manifestarsi un comportamento emergente da regole semplici, e come al mutare di piccole condizioni iniziali tale comportamento muti a sua volta. Nelle forze armate occidentali odierne, l'uso delle simulazioni nell'addestramento del singolo soldato è il frutto del bilanciamento tra *live training* e simulazione computerizzata, bilanciamento denominato *live, virtual, and constructive (LVC) training*<sup>68</sup>. Tale tipologia di addestramento, la quale si inserisce nell'uso di software COTS (*Commercial-off-the-Shelf*) nel settore difesa<sup>69</sup>, permette un notevole risparmio economico, temporale e di risorse, tenuto conto gli ampi confini delineati del continuo evolversi della guerra e dalla necessità di preparare il singolo per le sfide in ogni ambiente operativo. Tali obiettivi sono ben espressi nello *Strategic Plan for the Next Generation of Training* del Dipartimento della Difesa statunitense del 2010, secondo il quale questo dovrebbe essere indirizzato per operazioni sull'intero spettro (*full spectrum operations*) del campo di battaglia e in qualsiasi zona del mondo, con diverse possibili coalizioni, alleati e partner, con altre agenzie federali, Stati o governi locali, organizzazioni non governative, organizzazioni di volontariato private, industrie

<sup>66</sup> Si badi bene che si tratta di sfide nell'apprendimento e non di questioni relative alla calcolabilità del pensiero o alla più o meno vicinanza del mondo dei quanti, da cui le valutazioni del fisico Penrose (*Discovery of Quantum Vibrations in 'Microtubules' Inside Brain Neurons Corroborates Controversial 20-Year-Old Theory of Consciousness*, Elsevier, comunicato stampa del 16 gennaio 2014, <<http://www.elsevier.com/about/press-releases/research-and-journals/discovery-of-quantum-vibrations-in-microtubules-inside-brain-neurons-corroborates-controversial-20-year-old-theory-of-consciousness>> (09/2016)) prendono piede, e neppure ai limiti della logica degli scritti di Gödel (<[http://www.sdsc.edu/~jeff/Godel\\_vs\\_AI.html](http://www.sdsc.edu/~jeff/Godel_vs_AI.html)>, 09/2016).

<sup>67</sup> Il tentativo di integrare i due *software* per la simulazione del sistema rimane per ora un'opportunità di studio, la cui possibilità è stata esposta dall'autore al prof. Paolo Nesi del *DISIT Lab* dell'Università degli Studi di Firenze in data martedì 20 gennaio 2015.

<sup>68</sup> *Modeling and Simulation (M&S) Glossary*, Department of Defense, ottobre 2011.

<sup>69</sup> Programmi *software* o component *hardware* disponibili sul mercato e modificabili a seconda dell'uso necessario. Vd. J.S. Gansler, W. Lucyshyn, *Commercial-off-the-Shelf (COTS): Doing It Right*, Center for Public Policy and Private Enterprise, Università del Maryland, settembre 2008.

o università, per l'uso della tecnologia e delle tecniche che supportano addestramenti senza limiti geografici, per sincronizzare nuove capacità operative che rapidamente incorporino tattica, tecniche, procedure e lezioni già impartite o anticipate e, infine, per mantenere la competenza contro avversari tradizionali o combattere attivamente contro un nemico complesso, elusivo e con capacità elevate di adattamento che utilizzi la tecnologia disponibile, sistemi d'arma avanzati, armi di distruzione di massa (*weapons of mass destruction*, WMD) e il processo informativo per guadagnare un vantaggio determinante<sup>70</sup>.

D'altronde, nella medesima direzione va anche il *NATO Modelling and Simulation Master Plan* del 2012, che sottolinea il necessario passaggio della simulazione dagli effetti del rischio globale delle armi a lunga gittata al comportamento del singolo individuo.

L'elevata complessità delle impostazioni strategiche e operative della NATO e la maggiore importanza della cooperazione internazionale richiede un nuovo approccio di impiego e sviluppo delle capacità M&S [*Modelling and Simulation*]. Queste, che si sono concentrate in dottrina sugli effetti cinetici della guerra, devono ora fare riferimento ai nuovi aspetti di scenari futuri diversificati, dei comportamenti umani, di minacce asimmetriche, di superiorità informativa, di capacità di risposta delle forze armate [...]<sup>71</sup>.

I benefici non si limitano ai morigerati costi o alla scoperta della facilità di apprendimento per la generazione cosiddetta nativa digitale (della generazione, cioè, che ha giocato a *Grand Theft Auto*, GTA<sup>72</sup>), ma incrementano notevolmente anche l'addestramento delle singole forze armate o della singola unità<sup>73</sup>, rispondendo a esigenze di carattere operativo come l'addestramento per i moderni sistemi d'arma (es. complessità del sistema del velivolo F-35) o in ambienti nei quali è difficile poter simulare

<sup>70</sup> *Strategic Plan for the Next Generation of Training for the Department of Defense*, Office of the Under Secretary for Personnel and Readiness, settembre 2010, p. 6.

<sup>71</sup> *NATO Modelling and Simulation Master Plan, NATO M&S Strategic Plan Version 2.0*, settembre 2012, p. 3.

<sup>72</sup> Coker, *Warrior Geeks. How 21st Century Technology is Changing the Way We Fight and Think About War*, cit., p. 130.

<sup>73</sup> Si pensi a mo' di esempio, agli studi sui risultati conseguiti da un gruppo del corpo dei Marines che, utilizzando un simulatore computerizzato per apprendere lingua e cultura irakena, ha conseguito efficacia e conoscenze maggiori rispetto a chi non ha utilizzato tale sistema di apprendimento. Cfr. *Special Operations Language Training Software Measurement of Effectiveness Study: Tactical Iraqi Study Final Report*, Surface, WardAssociates, maggio 2007. Per uno sguardo dei benefici di insieme, vd. *Going Virtual to Prepare for a New Era of Defense*, Government Business Council, Rockwell Collins, 29 gennaio 2015.

situazioni di stress o di efficienza come lo spazio, per l'appunto, C4ISR, lo spettro elettromagnetico o il *cyber* spazio<sup>74</sup>.

[LVC] può garantire un'attenzione maggiore durante l'addestramento per i nostri combattenti nell'insieme degli ambienti e operativi e tattici come l'aria, operazioni speciali, nell'ambiente cibernetico, ISR e C2<sup>75</sup>.

Tale tipologia di addestramento favorisce un'adeguata preparazione del singolo combattente o del gruppo in operazioni *joint* o *combined*, nella complessità dell'ambiente in cui si trova ad agire e nella distribuzione delle operazioni su ampia scala<sup>76</sup>. La difficoltà metodologica di ricerca di una metrica adatta a valutare l'efficacia dell'apprendimento tramite *software* resta il punto più controverso della simulazione computerizzata. Ciò nonostante, ad esempio, l'utilità della simulazione del *Flight Simulator* (simulatore di volo) è comunemente riconosciuta per i benefici per la fase addestrativa del pilota aereo<sup>77</sup>.

Non è questo, comunque, l'intento dell'analisi qui di seguito, ma è di inquadrare in maniera speculativa la questione nei termini teorici di studio del comportamento del singolo nel tentativo di annullamento dell'imprevedibilità attraverso l'addestramento.

### 7.3.1 Agenti, spazio e complessità

Sistemi immersivi di realtà virtuale, ovvero in cui tutti i sensi sono utilizzabili<sup>78</sup>, vengono di solito adoperati per testare le capacità cognitive degli individui di memorizzazione o le capacità di far fronte ad eventi inaspettati, imprevedibili. Uno dei primi sistemi, denominato *DarkCon*, è stato realizzato dall'*Institute for Creative Technologies* della *University of Southern California*. Si trattava della simulazione di una missione di supporto logistico in un tunnel sotterraneo cosparso di resti umani e detriti, mentre in sottofondo si udivano i suoni dei carrarmati o lo squittio

<sup>74</sup> Su quest'ultima basti pensare all'esercitazione *Locked Shield Exercise* che si tiene ogni anno (nel 2014 si è svolta la terza edizione) in Estonia, in un hotel di Tallin, dove si sfidano trecento partecipanti provenienti da diciassette nazioni in dodici squadre, in difesa dell'Alleanza Atlantica, e un gruppo di pirati informatici che aggrediscono la rete informatico di uno Stato, la Berylia. Vd. <<https://ccdcoe.org/locked-shields-2014.html>> (09/2016).

<sup>75</sup> D. Walker, *Presentation to the House Armed Services Committee, Subcommittee on Intelligence, Emerging Threats and Capabilities*, Fiscal Year 2015 Air Force Science and Technology, marzo 2014.

<sup>76</sup> *Going Virtual to Prepare for a New Era of Defense*, cit., p. 6.

<sup>77</sup> <[http://aerosociety.com/Assets/Docs/Publications/DiscussionPapers/The\\_impact\\_of\\_flight\\_simulation\\_in\\_aerospace.pdf](http://aerosociety.com/Assets/Docs/Publications/DiscussionPapers/The_impact_of_flight_simulation_in_aerospace.pdf)> (09/2016).

<sup>78</sup> <<http://www.pcmag.com/encyclopedia/term/53945/virtual-reality>> (09/2016).

di ratti. Venivano simulati segnali sensoriali, stimoli, per incrementare così la tensione emotiva, innescando nel soggetto una probabile repentina reazione dettata dalla percezione<sup>79</sup>.

Nella stessa direzione, sfruttando il ruolo determinante delle esperienze emozionali nel processo di formazione della memoria a lungo termine<sup>80</sup>, l'intento è di mettere in condizione il singolo soldato di ripetere in circostanze reali il medesimo comportamento avuto in 'laboratorio' in condizioni di stress, nella convinzione che l'addestramento in tali condizioni sia migliore in termini di esito sul campo di battaglia<sup>81</sup> oppure nelle fasi di recupero nei casi di disordine post traumatico<sup>82</sup>.

Si cerca, quindi, di ripetere la complessità del fenomeno bellico e di simulare scenari di interazione in tale complessità, comprensivi quest'ultimi anche dell'imprevedibilità del comportamento umano, nel caso specifico un 'agente' all'interno del sistema: elementi di disordine sono presenti persino nella simulazione e vanno dalle informazioni imperfette al non-determinismo degli effetti dell'azione del soggetto all'interno dello scenario<sup>83</sup>.

Un modello basato su 'agente' si propone lo scopo di simulare le interazioni e le azioni di agenti autonomi, le cui azioni hanno ripercussione sull'intero sistema, ovvero di prendere come oggetto di studio un sistema che abbia le seguenti proprietà: a) il sistema è composto da agenti che interagiscono tra di loro e con il sistema stesso; b) il sistema contiene o potrebbe dar vita a comportamenti emergenti, come frutto di interazioni che non possono essere dedotte semplicemente dalle aggregate proprietà di sistema ed entità<sup>84</sup>.

Caratteristica della modellizzazione basata su agente è la simulazione di un individuo in un sistema dinamico, ovvero la rappresentazione

<sup>79</sup> J. Ford Morie, J. Williams, A. Dozois, D.-P- Luigi, *The Fidelity of Feel: Emotional Affordance in Virtual Environments*, U.S. Army Research, Development, and Engineering Command (RDECOM), 2005. Un progetto, GIZMODODO, sulla collaborazione tra individui è stato sviluppato dallo stesso istituto, vd. <<http://ict.usc.edu/news/gizmodovisits-ict-to-test-drive-blue-shark-our-vr-vision-of-the-future/>> mentre per un video del software vd. <<https://vimeo.com/87089512>> (09/2016).

<sup>80</sup> Cfr. K.S. LaBar, R. Cabeza, *Cognitive neuroscience of emotional memory*, «Nature Reviews Neuroscience», VII, gennaio 2006, pp. 54-64.

<sup>81</sup> A. Rizzo et al., *Human Emotional State and its Relevance for Military VR Training*, *The Proceedings of the 11th International Conference on Human Computer Interaction*, 2005.

<sup>82</sup> J. Pair et al., *A Virtual Reality Exposure Therapy Application for Iraq War Post Traumatic Stress Disorder*, *IEEE VR2006 Proceedings*, pp. 64-71.

<sup>83</sup> Sul concetto di *fog of war* nei videogame, vd. E. Adams, *Fundamentals of Game Design*, New Riders, Berkeley 2010, pp. 509 ss. Su un'applicazione concreta di tale concetto, vd. D. Soemers, *Tactical Planning Using MCTS in the Game of StarCraft*, giugno 2014.

<sup>84</sup> Cfr. R. Axelrod, L. Tesfatsion, *A Guide for Newcomers to Agent-Based Modelling in Social Sciences*, giugno 2005, p. 3, <<http://www2.econ.iastate.edu/tesfatsi/abmread.htm>> (09/2016).

esplicita, insieme al soggetto, delle altre entità del sistema, il relativo comportamento e la relativa interazione. Con il termine ‘agente’ si denota di solito un *hardware* o, più spesso, un sistema *software* che sia autonomo (capacità operativa senza interventi diretti dell’uomo e con un certo grado di controllo sulle proprie azioni e/o sulle condizioni del sistema interno), socialmente abile (capacità di interazione con le altre entità del sistema attraverso un comune linguaggio di comunicazione), reattivo (percezione dell’ambiente in cui avvengono le interazioni e capacità di risposta a eventuali cambiamenti) e pro-attivo (capacità di predire tali cambiamenti e indirizzare su tali basi il proprio comportamento)<sup>85</sup>.

A tali caratteristiche, come riportato da Trobia, possono essere talvolta aggiunte proprietà quali credenze, motivi, desideri ed emozioni<sup>86</sup>, quest’ultime progettate per essere simulate. In tal senso un ‘agente’ è

Un’entità computerizzata come un *software* o un robot, considerate come capace di percepire e agire all’interno di un determinato ambiente e che sia quindi autonomo nel proprio comportamento almeno parzialmente basato sull’esperienza. Come entità intelligente, un agente operata con flessibilità e razionalmente in una varietà di circostanze ambientali dati i suoi strumenti percettivi e effettuali, pratici<sup>87</sup>.

Una distinzione va fatta nell’ambito dei modelli multi-agente, fra ‘agenti reattivi’, i quali non hanno nessuna rappresentazione del mondo né fini determinati ma reagiscono in maniera naturale agli stimoli dell’ambiente, e ‘agenti cognitivi’, in grado di comunicare per raggiungere lo scopo che gli è stato prefissato<sup>88</sup>. Terna, a seconda della presenza o meno di capacità di adattamento, li distingue in agenti ‘con mente’ o ‘senza mente’ e definisce l’ambiente nel quale interagiscono come ‘strutturato’ o ‘non strutturato’ per determinare la qualità dei risultati ottenuti<sup>89</sup>.

L’uso della simulazione è stato anche lo strumento di analisi del sistema complesso della *agility* proposto da Alberts. L’esperimento, denominato abÉLICIT – *Experimental Laboratory for Investigating Collaboration, Information-sharing, and Trust*<sup>90</sup>, prevedeva che i partecipanti posti in condizioni fortemente gerarchiche o in casi di C2 *Edge* scegliessero la solu-

<sup>85</sup> M. Wooldridge, N.R. Jennings, *Intelligent Agents: Theory and Practice*, «The Knowledge Engineering Review», X (2), pp. 115-152.

<sup>86</sup> A. Trobia, *La ricerca sociale quali-quantitativa*, FrancoAngeli, Milano 2005, p. 144.

<sup>87</sup> G. Weiss (a cura di), *Multiagent Systems. A Modern Approach to Distributed Modern Approach to Artificial Intelligence*, MIT Press, Cambridge 1999, p. 1.

<sup>88</sup> K.R. Sawyer, *Multiagent Systems and the Micro-Macro Link in Sociological Theory*, «Sociological Methods & Research», XXXI (3), pp. 325-363.

<sup>89</sup> P. Terna, *La simulazione come strumento d’indagine per l’economia*, «Sistemi Intelligenti», 2, pp. 347-376.

<sup>90</sup> Dove ‘ab’ sta per *agent-based*.

zione migliore al problema sottoposto<sup>91</sup>. Si trattava di scoprire chi, cosa, dove e quando avrebbe compiuto un atto terroristico e, per raggiungere tale scopo, sarebbe stato necessario condividere le informazioni all'interno dell'organizzazione dal momento che i dati iniziali erano differenti tra gli agenti e, da soli, insufficienti allo scopo<sup>92</sup>. Il grado di misurazione si basava sulla qualità di consapevolezza e *shared awareness* (correttezza, tempistica, accuratezza), sull'efficienza (produttività, velocità), sulle proprietà dell'*agility* e degli approcci C2 (efficacia nella risoluzione del problema proposto)<sup>93</sup>. I risultati hanno così dimostrato l'imprescindibilità dell'essere *agilis* dall'approccio C2 adottato, sebbene il C2 *Edge* sia quello che garantisca il maggior numero di soluzioni con *shared awareness* elevata, con tempi minori di riuscita, a maggior ragione di fronte a un fenomeno complesso con alterazioni (create alla bisogna) di completezza e volume delle informazioni<sup>94</sup>.

Qui ed ora non si vuole di certo andare nella direzione di ridurre a una mera simulazione la complessità del mondo reale, in particolar modo, nelle Relazioni Internazionali, negli Studi sulla Strategia e nelle scienze sociali. In tal senso, infatti, viene condivisa la critica di Francis Fukuyama al noto libro di Axelrod *The Complexity of Cooperation*, sull'impossibilità di una teoria positiva, considerata quanto complicato sia l'ambiente nel quale tante piccole entità si comportano in maniera caotica, mentre il modello rappresentato da Axelrod (esattamente come la teoria di Jervis) si adatta maggiormente all'esame di studi di caso passati<sup>95</sup>.

Il tentativo delineato si propone di sviluppare un sistema che possa far interagire i tre livelli della strategia, della tattica e delle operazioni, cercando di quantificare la capacità di risposta del singolo soldato nella esecuzione del comando e nella capacità di aggiungere egli stesso informazioni al complesso sistema bellico. Tale interazione della entità con il sistema viene rappresentata, ad esempio, nella comunicazione con i sistemi automatizzati, o nell'accesso alla rete satellitare o *Tactical IP*, nel donare informazioni (es. localizzazione ostacolo/pericolo) e nella velocità di risposta dello stesso in situazioni particolari di stress, per cause inter-

<sup>91</sup> Vd. Alberts, *Agility*, cit., pp. 285 ss.

<sup>92</sup> Per maggiori informazioni sull'esperimento, vd. <<http://www.dodccrp.org/html4/elicit.html>> (09/2016).

<sup>93</sup> Alberts, *Agility*, cit., pp. 295-299.

<sup>94</sup> Cfr. D.S. Alberts, M.E. Tillman, *NEC2 Effectiveness and Agility: Analysis Methodology, Metrics, and Experimental Results, Joint Framework for Measuring C2 Effectiveness*, MORS Workshop, Alexandria, 23-26 giugno 2012. Per una critica a tali risultati, vd. J. Lespinoso, *The ELICIT Experiment: Eliciting Organizational Effectiveness and Efficiency under Shared Belief*, U.S. Military Academy, Network Science Center, West Point, 2007.

<sup>95</sup> F. Fukuyama, *The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Collaboration; System Effects: Complexity in Political and Social Life*, Council on Foreign Relations, marzo-aprile 1998.

ne al sistema stesso (interazione) o esterne (attrito, caso), nel tentativo di descrivere un utile scenario per situazioni di conflitto futuri.

### 7.3.2 La scelta dei software

La scelta dei *software* per la simulazione è stata dettata dalle proprietà integrative dei due programmi e dallo scopo dello *storyboard* proposto di conciliare attività spaziale, nella sua funzione net-centrica, e attività negli altri ambienti operativi, in particolare nelle forze terrestri, di fronte alla possibilità di conflitti di natura simmetrica, ovvero di confronto alla pari tra le parti in causa, o ibrida, ossia una combinazione di aspetti insieme di guerra asimmetrica e di guerra simmetrica (è il caso, ad esempio, dell'odierno conflitto in Ucraina)<sup>96</sup>, dove la gestione dell'informazione e l'infrastruttura, la sua protezione e l'accesso ampio da parte del singolo soldato a queste per attuare l'auto-sincronizzazione delle operazioni assumeranno un valore determinante. La scelta di entrambi i programmi di simulazione è stata compiuta tenendo in considerazione le possibili alternative, scartate per la non funzionalità al raggiungimento dell'intento proposto o per le difficoltà particolari di integrazione.<sup>97</sup>

#### VBS3

*Virtual Battle Space 3* (VBS3)<sup>98</sup> è una piattaforma aperta sviluppata dalla *Bohemian Interactive Simulations* (BISim) per lo sviluppo di capacità di addestramento, simulazione realistica e ambiente di sviluppo per LVC. La realtà virtuale immersiva, ottenuta di solito per mezzo di un visore utilizzabile in prima persona<sup>99</sup>, permette di integrare sistemi UAV, funzioni di C2 e ISTAR e ambienti ultra-realistici, come dimostrato dai numerosi

<sup>96</sup> Vd. *The Russian Military Forum: Russia's Hybrid War Campaign: Implications for Ukraine and Beyond*, Center for Strategic and International Studies, 10 marzo 2015, <<http://csis.org/event/russias-hybrid-war-campaign-implications-ukraine-and-beyond>> (09/2016). Sulla Guerra ibrida, si consiglia: M.S. Bond, *Hybrid War: A New Paradigm for Stability Operations in Failing States*, USAWC Strategy Research Project, Carlisle, US Army War College, 30 marzo 2007; Headquarters Department of the Army, *Operations*, Washington DC, febbraio 2008, modificato nel febbraio 2011, pp. 1-5; B.P. Fleming, *The Hybrid Threat Concept: Contemporary War, Military Planning and the Advent of Unrestricted Operational Art*, Fort Leavenworth, School of Advanced Military Studies United States Army Command and General Staff College, 2011.

<sup>97</sup> Tra gli altri programmi si sono valutati: ArcGIS, ArmA3, SitaWare, Corps Battle Simulation (CBS).

<sup>98</sup> Sull'idea di uso di tale programma di simulazione sono stati presi contatti con i rappresentanti della sede italiana della *Bohemian Interactive Simulations*, in particolare con il dott. Claudio Taraschi.

<sup>99</sup> Per VBS3, ad esempio, attraverso *Oculus Rift DK2*. Vd. *Bohemian Interactive Simulations, New Developments in VBS3 – GameTech 2014*.

studi di caso<sup>100</sup>. Il programma è quello maggiormente utilizzato nel settore delle forze armate negli Stati Uniti e nei paesi NATO<sup>101</sup>. La versione precedente, infatti, VBS2, di cui si servono circa trentasei mila soldati al giorno sparsi per l'intero globo<sup>102</sup>, è stata scelta per l'addestramento dell'esercito statunitense in operazioni tattiche all'interno del programma *Games for Training* (iniziato nell'anno 2009)<sup>103</sup>. L'estensione della sua piattaforma e delle sue capacità può essere realizzata tramite integrazione o interoperabilità. La prima si sviluppa attraverso l'uso dell'interfaccia *plug-in* per sviluppatori in modo che altri programmi di simulazione possano essere 'comandati' insieme a VBS3. La seconda, invece, offre la possibilità dell'interoperabilità tra vari programmi attraverso il protocollo DIS (*Distributed Interactive Simulation*), sostituito, poi, dall'architettura HLA (*High Level Architecture*)<sup>104</sup>. Tra le particolarità di VBS3 risalta il realismo dell'agente, o dell'*avatar*, il corrispettivo virtuale del soldato durante l'addestramento. Questo, oltre a prendere la fisiologia del soldato (sesso, colore della pelle, indice di massa corporea, altezza, misure biometriche), ne acquisisce anche le caratteristiche, come capacità di precisione nel tiro o velocità e riconoscimento degli *avatar* delle altre entità che partecipano all'addestramento, siano esse altri soldati o agenti di intelligenza artificiale che prendono parte allo scenario. Tale rappresentazione della dimensione umana (*human dimension modeling*)<sup>105</sup> è stata realizzata anche per soddisfare le richieste di chi ha avuto l'occasione di provare per prima l'ambiente simulativo come risposta a un'esplicita domanda sulle opportunità di miglioramento della qualità dell'addestramento<sup>106</sup>.

### STK (AGI)

Il programma STK (*Systems Tool Kit*)<sup>107</sup> è stato sviluppato dall'*Analytical Graphics Inc.* (AGI) per effettuare analisi particolarmente complicate

<sup>100</sup> Cfr. <<https://bisimulations.com/showcase>> (09/2016).

<sup>101</sup> A. Barrie, *Army battles with brawn and beer bellies*, «Fox News», 22 maggio 2014, <<http://www.foxnews.com/tech/2014/05/22/army-battles-with-brawn-and-beer-bellies/>> (09/2016).

<sup>102</sup> V. Insinna, *Army Releases New Video Game Training*, «National Defense», giugno 2014, p. 13.

<sup>103</sup> <<https://bisimulations.com/showcase/us-army-gft>> (09/2016).

<sup>104</sup> *High Level Architecture STANAG Development (MSG-033)*, <[https://www.cso.nato.int/Activity\\_Meta.asp?ACT=817](https://www.cso.nato.int/Activity_Meta.asp?ACT=817)> (09/2016).

<sup>105</sup> <<http://www.defensenews.com/story/defense/international/americas/2014/12/08/personalized-approach-to-army-avatars-/20105585/>> (09/2016).

<sup>106</sup> Queste le parole di Anthony Rolfe, uno dei programmatori di Virtual Battle Space della *Bohemian Interactive Simulations*: «Non vogliamo un *avatar* di fantasia poiché ciò potrebbe creare una erronea percezione delle proprie capacità», in Insinna, *Army Releases New Video Game Training*, cit.

<sup>107</sup> Referente dr. Filippo Gemma, GM Spazio.

dell'aereo-spazio, anche di carattere ingegneristico-matematico, come quelle sullo spettro elettromagnetico. Il *software* è utilizzato per indagini sulle seguenti aeree: *Space Situational Awareness*, missioni spaziali, missioni aeree, difesa missilistica, ISTAR/ISR/C4ISR, guerra elettronica<sup>108</sup>. STK è correntemente utilizzato, oltre che dalle agenzie spaziali (NASA, ESA, CNES), anche all'interno del settore difesa nella sfera pubblica e privata<sup>109</sup> (ad esempio, la Lockheed ha selezionato il programma per compiere di test valutativi sul sistema di integrazione del velivolo F-35<sup>110</sup>). Per l'integrazione, STK ha maggior flessibilità del precedente, per cui è possibile, attraverso un modulo aggiuntivo (*STK Integration*), incorporare le sue funzioni attraverso un componente tipo *ActiveX* o un'applicazione esterna (TCP/IP o COM, *Component Object Model*) o semplicemente connettendo il programma a un ambiente di sviluppo (es. MATLAB), nei linguaggi di programmazione C, C++, Perl, Visual Basic, VBScript, Java, Java Script<sup>111</sup>.

### 7.3.3 La costruzione dello scenario

Dal punto di vista tecnico, l'integrazione potrà avvenire tramite costruzione di una libreria DLL (*Dynamic Link Library*, 'libreria a collegamento dinamico'), ovvero attraverso la registrazione separata come file (con suffisso DLL) di alcune routine eseguibili in modo da poterle caricare soltanto quando servono ai programmi. I vantaggi di tali integrazione consentono di non occupare memoria fino a quando non viene richiamato, quindi 'usato', il file e di correggere o modificare un determinato modulo senza intaccare il funzionamento dei programmi stessi, usando la stessa libreria per entrambi<sup>112</sup>. Dal lato dell'intento teorico, si tratta di cercare di mettere in contatto l'ambiente spaziale dei dispositivi satellitari con le unità negli altri ambienti operativi, come la forza di fanteria terrestre, entità quest'ultima che vedrà comparire, così, una serie di informazioni sullo schermo. Tali informazioni non saranno solamente di carattere tattico (posizione e ottenimento target, localizzazione) ma tenderanno di unire tattica, strategia e operazioni, attraverso la gestione

<sup>108</sup> <<http://www.agi.com/resources/user-resources/downloads/case-studies/>> (09/2016).

<sup>109</sup> Sul blog seguente, è possibile trovare numerosi usi di STK, video compresi dall'errore umano nel lancio di uno dei satelliti Galileo alla difesa missilistica nordcoreana: <<http://www.agi.com/products/product-literature/>> (09/2016).

<sup>110</sup> <<http://www.airforce-technology.com/news/newslockheed-selects-agi-software-for-f-35-lightning-ii-aircraft>> (09/2016).

<sup>111</sup> <<http://help.agi.com/resources/help/online/stkDevKit/10.1/index.html>> (09/2016).

<sup>112</sup> Metodo di integrazione proposto dopo l'incontro al *DISIT Lab*, vd. nota 67 capitolo 7.

di una mole di dati sufficiente a ottenere il conseguimento della fase di esecuzione del Comando e mettendo alla prova anche le capacità di controllo e di collaborazione tra gli agenti dello scenario simulato.

### *JC3IEDM*

Il flusso di informazioni riprende lo sforzo fatto in ambito NATO per assicurare l'interoperabilità di queste per operazioni di carattere multinazionale, *joint* o *combined* in tutti i gradi e i livelli delle forze armate. In particolare, il MIP (*Multilateral Interoperability Programme*)<sup>113</sup> prevede un modello dei dati<sup>114</sup>, denominato JC3IEDM (*Joint Command, Control and Consultation Information Exchange Data Model*), successore del C2IEDM (*Command and Control Information Exchange Data Model*), per la trasmissione di informazioni sulla *situational awareness*, sulla pianificazione delle operazioni, sull'esecuzione di queste e sull'attività di *reporting*<sup>115</sup>. La tipologia delle informazioni trasmesse può essere semplificata in varie categoria di dati, come quelli sulle forze presenti (avversarie o amiche), tra cui la composizione (tipologia e numero delle forze militari o non-militari), disposizione (geo-localizzazione delle forze), sostegno (capacità di supporto logistico), mobilità (capacità di movimento all'interno del teatro o tra più teatri operativi), sistemi d'arma (tipo, numero, capacità e limiti), C4I (tipo, numero, capacità e limiti), dati sulle condizioni dell'ambiente fisico, terra (informazioni geologiche o ambientali come presenza di barriere naturali o infrastrutture), mare (caratteristiche generali relative alle condizioni delle acque e del litorale), aria (visibilità e effetti dei sistemi d'arma su questa), spazio (condizioni delle comunicazioni relative agli assetti spaziali) o, ancora, sulla condizione dell'ambiente sociale (sfera politica, culturale e economica) oppure, semplicemente, informazioni generali sulla missione, sulle condizioni C3, di *intelligence*, su acquisizione del target, sviluppo, movimento e manovra delle operazioni (condizioni delle linee di comunicazione e pianificazione), sicurezza (stato della supremazia di terra, aria, mare), attività di supporto (informazioni relative al sostegno delle forze nella conduzione della missione) o sul contesto operativo (fase delle operazioni, condizioni di stress, prospettiva tattica,

<sup>113</sup> Partecipano al MIP, oltre al comando militare NATO, i seguenti Stati: Australia, Austria, Belgio, Canada, Croazia, Repubblica Ceca, Danimarca, Estonia, Finlandia, Francia, Germania, Grecia, Italia, Norvegia, Nuova Zelanda, Olanda, Polonia, Portogallo, Regno Unito, Romania, Slovacchia, Slovenia, Spagna, Stati Uniti, Sud Africa, Svizzera, Turchia. Cfr. <<https://mipsite.lsec.dnd.ca/Pages/MIPorganisation.aspx>> (09/2016).

<sup>114</sup> Un modello dei dati è la «raccolta di tipi di oggetti collegati, operatori e regole di integrità che formano l'entità astratta supportata da un sistema di gestione di database»: *Dizionario di Informatica*, Mondadori, Milano 2006, p. 392.

<sup>115</sup> MIP, *Overview of the Joint C3 Information Exchange Data Model (JC3IEDM Overview)*, 14 febbraio 2012, p. 5.

nazionale o di teatro delle operazioni)<sup>116</sup>. Esempio di messaggio di localizzazione di unità tramite protocollo di invio dati (con uno consistente di ‘metadati’, di dati sui dati) come localizzazione delle forze o acquisizione target, in XML (*eXtensible Markup Language*)<sup>117</sup> per lo scambio informazioni, è il seguente<sup>118</sup>:

```
<soapenv:Envelope xmlns:soapenv="http://schemas.xmlsoap.org/
soap/envelope/" xmlns:web="http://web.jc3v314/">
  <soapenv:Header/>
    <soapenv:Body>
      <web:location>
        <objId>?</objId>
      </web:location>
    </soapenv:Body>
  </soapenv:Envelope>
```

Mentre l’invio di una posizione verrà ‘scritto’ in tal maniera<sup>119</sup>:

```
<soapenv:Envelope xmlns:soapenv="http://schemas.xmlsoap.org/
soap/envelope/" xmlns:ws="http://ws/">
  <soapenv:Header/>
  <soapenv:Body>
    <ws:positionReport>
      <positionReport>
        <areaCode>?</areaCode>
        <description>?</description>
        <latitude>?</latitude>
        <longitude>?</longitude>
        <messageId>?</messageId>
        <requestTimestamp>?</requestTimestamp>
        <requestor>?</requestor>
      </positionReport>
    </ws:positionReport>
  </soapenv:Body>
</soapenv:Envelope>
```

<sup>116</sup> Ivi, pp. 9 ss.

<sup>117</sup> Cfr. SAAB Group, *Introduction to MIP Toolkit*, <<http://saab.com/globalassets/commercial/land/c4i/operational-c4i/mip/mip-ps-brochure-2014-web.pdf>> (12/2016).

<sup>118</sup> P.B.A. Lara, R. Choren, *A Message Exchange Protocol in Command and Control System Integration, using the JC3IEDM, 19th International Command and Control Research and Technology Symposium – C2 Agility: Lessons Learned from Research and Operations*, Alexandria, 16-19 giugno 2014.

<sup>119</sup> *Ibidem*.

### *Lo scenario*

Il collegamento tra il dispositivo satellitare e il singolo soldato ha il compito di mettere in risalto quella funzione net-centrica dello spazio, base della complessità dei conflitti futuri, e, insieme, esaminare la gestione delle informazioni da parte del secondo per l'esecuzione decentralizzata del comando e prendere parte egli stesso a quel processo informativo, il cui vantaggio strategico è determinante per la riuscita delle operazioni.

La cornice scelta per la costruzione dello scenario è un conflitto di guerra simmetrica (o ibrida), ovvero di confronto alla pari tra Stati o tra entità organizzate, in cui la digitalizzazione del campo di battaglia conoterà gli ambienti operativi, con particolare riguardo alla superiorità del campo elettromagnetico nella sua componente spaziale. Disseminare e distribuire informazioni, dati, *intelligence* e *intelligenza*, farà in modo che entrambi gli schieramenti, il cui *gap* tecnologico va sempre più assottigliandosi fino all'annullamento di quell'espressione *The West and the rest*<sup>120</sup> che ha caratterizzato gli anni passati meno recenti, tenteranno di ostacolare il realizzarsi di tali circostanze. La salvaguardia del flusso informativo e, insieme, impedire che esso si realizzi nel campo avversario includerà lo sviluppo di una *Space Situational Awareness* (SSA), della superiorità aereo-spaziale, di una *maritime domain awareness*<sup>121</sup>, della conseguente messa in sicurezza fisica e cibernetica delle infrastrutture spaziali<sup>122</sup>.

La condizione di guerra simmetrica (o ibrida) permetterà, poi, di valutare le capacità di risposta, l'essere *agilis* degli agenti, o dell'*avatar*, rappresentazione 'diversa' del singolo soldato. Infatti, la possibilità di frequenti attacchi elettronici a sistemi UAV<sup>123</sup> o danni ai dispositivi satellitari (anche solo nel caso di errore di valutazione della potenza segnale del dispositivo

<sup>120</sup> L'espressione è il titolo di un libro di Niall Fergusson, in cui lo storico esamina il diverso sviluppo occidentale dalla parte restante del pianeta a partire dal 1500 nei seguenti punti (*killer apps*): concorrenza, scienza, stato di diritto, consumismo, etica. Cfr. N. Fergusson, *Civilization: The West and the Rest*, Penguin Press, Londra 2011.

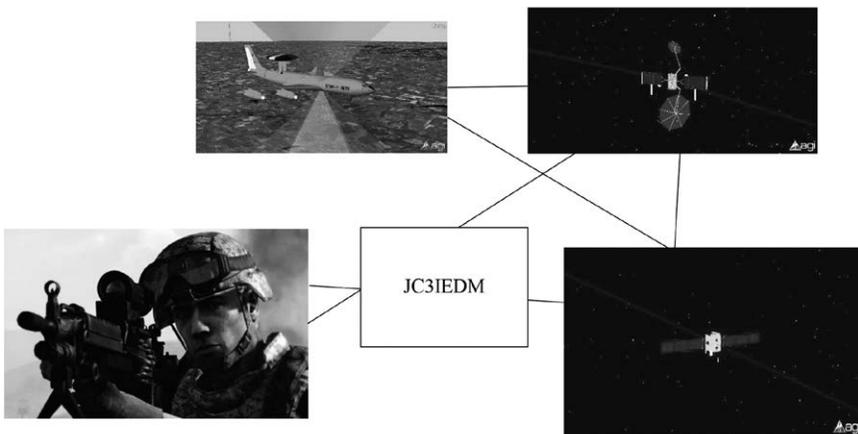
<sup>121</sup> Anche in tale settore un ruolo cruciale sarà svolto dai satelliti, cfr. D.L. Neyland, N.P. Bannister, *Commercial Satellite Electro-Optic Imagery for Space Based Maritime Domain Awareness*, Office of Naval Research – Global US Navy, Università di Leicester, ottobre 2013; B. Obama, *National Space Policy of the United States of America*, Washington DC, 28 giugno 2010.

<sup>122</sup> <<https://www.thalesgroup.com/en/worldwide/defence/case-study/conflicts-more-complexity-tomorrow>> (09/2016).

<sup>123</sup> Sui droni così il presidente della commissione difesa della Bundestag in un'intervista dell'agosto 2014: «What we have right now are fairly primitive aircraft that in any symmetrical conflict would disappear from the sky within half an hour. Drones are easy to fight, easy to shoot down, easy to jam electronically. They don't have any self-protective systems, and they crash frequently». H.-P. Bartels, *Drones simply aren't the height of technology*, «IP Journal», 1 agosto 2014. Sulle minacce per i dispositivi satellitari, vd. cap. 4.

di localizzazione<sup>124</sup>) rappresenterà un elemento addizionale di stress per la singola entità, che a sua volta dovrà mostrare un certo livello di capacità decisionali collaborative o autonome. L'ambito NATO permette di valutare quanto descritto a riguardo della NATO NEC Over SATCOM e di immaginare uno scenario dell'infrastruttura spaziale NATO 2020, ovvero una valutazione delle proprietà dell'*agility* in situazioni C2 *Edge*, ponendo l'agente di fronte alla problematica di operare in situazioni di accesso al flusso informativo satellitare o aereo-spaziale e di valutare la propensione alla cooperazione in situazioni di non completezza delle informazioni, sulla falsariga di quanto proposto da Alberts per l'esperimento abELICIT. Il segmento spaziale risulterà così formato da satelliti in orbita bassa e in orbita geostazionaria (satelliti per la comunicazione, es. SICRAL) per la trasmissione di informazioni tra gli altri satelliti e le stazioni di terra (centro decisionale), per garantire il collegamento continuo con i dispositivi in orbita bassa terrestre (es. MUOS, nella figura) e i sistemi aerei a comando remoto (es. UAV Awacs, nella figura). Il segmento terrestre sarà caratterizzato da entità in movimento nell'esecuzione di un'operazione con completo accesso al flusso informativo e velocità di risposta massima<sup>125</sup>.

Figura 7.1 – Rappresentazione semplificata dello scenario proposto<sup>126</sup>.



<sup>124</sup> Tale è stato anche il suggerimento del prof. Robert Axelrod.

<sup>125</sup> Un'unità dotata, ad esempio, di un'antenna del tipo TacSat Razor Antenna della Selex o, nel futuro, del visore al quale si faceva riferimento nel paragrafo precedente.

<sup>126</sup> Le immagini dei satelliti sono *snapshot* di STK effettuati da scenari costruiti dall'autore, mentre l'immagine VBS è stata presa da Rita Boland, "It might be virtual, but is not a game", Signa, 1 Agosto 2014 <<http://www.afcea.org/content/?q=it-might-be-virtual-it-not-game>> (12/2016).

Addestrarsi alla capacità di gestione della quantità di flussi di comando e flussi dati è quanto accaduto, ad esempio, durante il *Coalition Warrior Interoperability eXploration, eXperimentation, eXamination, eXercise* (CWIX) delle forze NATO, svoltosi nel giugno 2014 in Polonia attraverso l'uso di VBS3, con l'intento particolare di testare il dispositivo BMS (*Battlefield Management Systems*) JASMINE della Teldat<sup>127</sup>. D'altra parte, esercitazioni di guerra simmetrica e ibrida, in particolar modo in un ipotetico scontro con la Russia, vengono compiute dalle forze NATO con una certa regolarità, l'ultima delle quali sulla gestione della crisi in collaborazione con l'esercito ucraino<sup>128</sup>.

### 7.3.4 Prospettive schizofreniche

«Quali esercizi fareste voi fare loro al presente?» chiede Cosimo Rucellai nell'*Arte della Guerra* a Fabrizio Colonna, *alter ego* del Machiavelli. Tra i vari descritti, «correre e fare alle braccia, fargli saltare, fargli affaticare sotto armi più gravi che l'ordinarie, fargli trarre con la balestra e con l'arco; a che aggiungerei lo scoppietto», nuotare e andare a cavallo, su quest'ultimo, in particolare, il Machiavelli racconta, riprendo Vegesio<sup>129</sup>, come gli 'antichi' si esercitassero a montare su un cavallo di legno, costruzione di una realtà immaginaria che potesse rendere facile tale azione nella guerra reale<sup>130</sup>.

Cosa ben diversa è simulare in un contesto di realtà virtuale delle operazioni di guerra, o ancora far compiere ad agenti di intelligenza artificiale o *avatar*, aventi le stesse caratteristiche delle entità, delle azioni allo scopo di simulare il processo informativo che avvolge decisione po-

<sup>127</sup> <<https://bisimulations.com/showcase/teldat>> (09/2016).

<sup>128</sup> *Ukraine to take part in NATO crisis management exercise*, «Ukrinform», 4 marzo 2015, <[http://www.ukrinform.ua/eng/news/ukraine\\_to\\_take\\_part\\_in\\_nato\\_crisis\\_management\\_exercise\\_329501](http://www.ukrinform.ua/eng/news/ukraine_to_take_part_in_nato_crisis_management_exercise_329501)> (09/2016).

<sup>129</sup> Così descritto: «Non tantum aumtem a tironibus, sed etiam ab stipendiosis militibus salito equorum districte est semper exacta. Quem usum esque ad hanc aetatem, licet iam cum dissimulatione, peruenisse manifestum est. Equi lignei hieme sub tecto, aestate ponebatur in campo; supra hos iuniores primo inermes, dum consuetudo proficeret, deinde armati cogebantur ascendere. Tentaque cura erat, ut non solum a dextris sed etiam a sinistris partibus et insilire et desilire condisceret, euginatorum etiam gladios uel contos tenentes. Hoc idem adsidua meditatione faciebant, scilicet ut in tumultu proelii sine mora ascenderent qui tam studiose exercebantur in pace». Vegetius, *Epitoma de rei militaris*, Libro I, cap. 18, Lipsia 1869, <[http://www.libreria-militareares.it/BIBLIOTECA/BIBLIOTECA%20MILITARE%20DIGITALE/I.%20TRATTATI%20MILITARI/SCRITTORI%20GRECI%20E%20ROMANI/VEGESIO/Epitoma\\_rei\\_militaris%20ed.%20LANG.pdf](http://www.libreria-militareares.it/BIBLIOTECA/BIBLIOTECA%20MILITARE%20DIGITALE/I.%20TRATTATI%20MILITARI/SCRITTORI%20GRECI%20E%20ROMANI/VEGESIO/Epitoma_rei_militaris%20ed.%20LANG.pdf)> (09/2016).

<sup>130</sup> N. Macchiavelli, *Dell'arte della guerra*, a cura di A. Capata, Newton & Compton, Roma 2005, pp. 137-138.

litico-strategica, operazioni, tattica, ovvero la proposta di simulazione sopra delineata.

Lungi dall'affermare che la non linearità del fenomeno bellico nel particolare incontro-scontro e sintensi nel segmento spaziale possa vedere il proprio fattore incontrollato contenuto (e limitato) in un algoritmo, è sulla possibile comprensione del comportamento delle entità e delle dinamiche nel compimento del ciclo di esecuzione delle funzioni C2 che la simulazione può essere notevolmente di aiuto. Né è possibile affermare con altrettanta facilità che la simulazione non sia vantaggiosamente impiegata nelle scienze sociali<sup>131</sup> o nella fase di addestramento.

La guerra non è neanche un cavallo di legno, ben lo sapeva Machiavelli, non un visore, non l'immedesimazione del proprio io in un soggetto virtuale. Un 'io diverso' che si comporterebbe esattamente come se stessi, se non fosse (tele)guidato sullo schermo, che ha la stessa fisionomia, la stessa precisione di tiro, la stessa corsa e propensione ad affaticarsi, come il sistema *Pointman* sviluppato da VBS e dalla *US Naval Research Laboratory*, grazie al quale attraverso i movimenti su un *joypad*, *head tracker* (sensori applicati sul capo) e i pedali è possibile controllare il proprio *avatar* nella realtà virtuale<sup>132</sup>. Gli effetti benefici dei primi usi in addestramento di tale sistema (aumento performance, capacità di fare squadra, condivisione ampia delle informazioni), compiuti dal Secondo Battaglione del Terzo Reggimento della Compagnia *Golf*<sup>133</sup>, non devono fare cadere i rischi di spersonalizzazione, di trasformazione in un automa, in un agente artificiale<sup>134</sup>, che rappresenterebbe se stessi pur non essendolo: insicurezza ontologica, direbbe uno psichiatra come Laing, che è la base fenomenologica-esistenziale per l'individuo 'schizoide', «la cui totalità di esperienza personale è scissa in due livelli principali nei rapporti con l'ambiente, e nei rapporti con se stesso»<sup>135</sup>.

<sup>131</sup> In psicologia come in linguistica, in economia come in antropologia, in ingegneria, in archeologia, nella scienza politica, si consiglia tra gli altri: N. Gilbert, K.G. Troitzsch, *Simulation for the Social Scientist*, Mc-Graw Hill, Open University Press, Maidenhead, febbraio 2005 (II ed.).

<sup>132</sup> <<https://bisimulations.com/showcase/us-marine-corps>> (09/2016).

<sup>133</sup> J. Templeman, *Enhancing Realism in Desktop Interfaces for Dismounted Infantry Simulation*, US Naval Research Laboratory, 18 febbraio 2014, si invita a far caso, all'interno della presentazione, ai grafici relativi alle interviste effettuate circa l'utilità di tale metodologia di addestramento, considerato dai Marines che lo hanno adoperato «largamente utile» (<<https://docs.google.com/file/d/0B-gjGskv7qWpOUIFNUxRZVJmVHM/edit?pli=1>>, 09/2016).

<sup>134</sup> P. Sengers, *Schizophrenia and Narrative in Artificial Agents*, «Leonardo», XXXV (4), 2002, pp. 427-451.

<sup>135</sup> R.D. Laing, *L'io diviso. Studio di psichiatria esistenziale*, Einaudi, Torino 1969 (II ed.), p. 21.

In tal senso il comportamento schizofrenico va inquadrato non come effetto sinistro di un addestramento troppo simulativo (e troppo, o troppo poco, realistico), né vi è un collegamento diretto, ad esempio, tra *wargaming* (o *gaming*) e schizofrenia<sup>136</sup>, ma come rischio dell'analisi della simulazione in risposta all'ampia complessità del fenomeno bellico, che in quanto tale, per definizione, non è facilmente 'modellabile'.

La simulazione, tuttavia, potrebbe offrire utili spunti per futuri accorgimenti pratici o disamine teoriche da divenire, considerato, da un lato, che la computerizzazione e la digitalizzazione del campo di battaglia rendono maggiormente difficoltoso l'ambiente in cui si inserisce il fenomeno, e che, dall'altro, sembrerebbe un'utopia discernere, separare in maniera netta, simulazione e settore difesa dello spazio e dell'aereo-spazio, e per motivi economici (quanto mai validi)<sup>137</sup> e per praticità della sperimentazione prima del lancio di un satellite o per verificare l'efficacia dell'integrazione del *software* operativo. Ancora molti tentativi vanno fatti nella comprensione del fenomeno bellico nel sistema spaziale nel suo collegamento e nelle sue ripercussioni strategiche e tattiche negli altri ambienti operativi. E ancora molte simulazioni.

#### *7.4 Tentativo n. 3. Comprendere la complessità del fenomeno bellico nell'organizzazione di una colonia di formiche*

Circostanza di intelligenza distribuita per il raggiungimento dell'auto-sincronizzazione è uno scenario, come quello sopra descritto per la simulazione o nel primo tentativo di abbattimento dell'incertezza nella condivisione delle informazioni, all'interno del quale opera una distribuzione sinaptica in cui le parti agiscono in maniera sincronizzata e coordinata in un contesto di scambio reciproco e continuo di dati per realizzare quel vantaggio informativo necessario per la conduzione del conflitto.

Si eviteranno di seguito riferimenti ai modelli matematici che formalizzano il comportamento delle formiche all'interno della colonia (ACO,

<sup>136</sup> Questo innanzitutto a causa delle difficoltà, all'interno della comunità scientifica, di trovare le cause specifiche di un comportamento schizofrenico, mentre, invece, gli impulsi dello schermo sembrerebbero aumentare le possibilità di avere psicosi, producendo il cervello un eccesso di dopamina in alcune zone particolari. Cfr. V.L. Dunkley, M.D., *Computer, Video Games & Psychosis: Cause for Concern. Can screen-time trigger psychotic symptoms?*, «Mental Wealth», 30 giugno 2012; M. Koepp et al., *Evidence for striatal dopamine release during a video game*, «Nature», CCCXCIII, 21 maggio 1998, pp. 266-268.

<sup>137</sup> L'attrezzatura per la simulazione descritta del Pointman ha un costo di circa 400 dollari (vd. nota relativa), mentre la possibilità di uso di programmi COTS ha abbattuto i costi e aumentato le opportunità di sviluppo. Ciò non toglie che molte aziende preferiscono avere programmi di simulazione propri (es. Selex, Exelis, SAAB).

*Ant Colony Optimization*)<sup>138</sup>, spesso causa di abbagli e punto di partenza di percorsi sterili. Si intende porre l'attenzione, invece, sull'analogia tra complessità del comportamento in una società, a prima apparenza semplice, come quella formata dagli insetti sociali, e lo *swarming warfare* e sull'evidenza empirica di alcuni particolari comportamenti che mostrano come siano presenti principi di ciclicità nella sfera più piccola così come nei livelli successivi, imprimendo al flusso di dati una valenza determinante ai fini della sopravvivenza stessa (e della conduzione delle operazioni sul campo di battaglia liquido).

#### 7.4.1 *Swarming warfare*

Lo *swarming* (parola inglese che indica l'agire in sciame, in stormo, in branco) come descritto da John Arquilla e David Ronfeldt è

un modo di attacco da ogni direzione amorfo, ma deliberatamente strutturato, coordinato, attraverso strumenti di impulsi di supporto di forza e/o di fuoco, da posizioni ravvicinate [*close-in*] o a lungo raggio [*stand-off*]. Funzionerà meglio – probabilmente solamente in tal maniera – se designate per lo più intono al dispiegamento di una miriade di unità manovrabili, piccole, disperse e in rete ('baccelli' organizzati in 'grappoli')<sup>139</sup>.

Lo scopo è il raggiungimento di quelle capacità racchiuse nell'essere *agilis* destinate a scardinare la rigidità della catena di comando a favore di una convergenza delle forze e di una concentrazione di queste, donando un maggiore raggio decisionale alla fase di esecuzione della singola entità, la quale inserita nel *loop* informativo comunicherà in maniera istantanea con le altre unità presenti sul campo di battaglia, siano esse macchine o esseri umani<sup>140</sup>.

L'evoluzione dello *swarming* in ambito militare, senza risalire ai pur interessanti riferimenti a Gengis Khan o alla falange macedone<sup>141</sup>, ha comportato, nell'ambito della dottrina strategica contemporanea, cambiamenti di alcuni concetti chiave dalla massa, a favore della dispersione, all'economia delle forze, vinta quest'ultima dalla simultaneità, dell'unità

<sup>138</sup> Sull'ACO, cfr. M. Dorigo, T. Stützle, *Ant Colony Optimization*, MIT Press, Cambridge 2004; su altre applicazioni dell'algoritmo di ottimizzazione, vd. C. Grosan, A. Abraham, V. Ramos, *Stigmergic Optimization (Studies in Computational Intelligence)*, Springer-Verlag, New York 2006.

<sup>139</sup> J. Arquilla, D. Ronfeldt, *Swarming & The Future of Conflict*, RAND Corporation, Santa Monica 2000, p. VII.

<sup>140</sup> Cfr. Alberts, *Agility, Focus, and Convergence: The Future of Command and Control*, cit.

<sup>141</sup> Cfr. S.J.A. Edwards, *Swarming on the Battlefield: Past, Present and Future*, RAND Publications, Washington DC 2000.

di comando sostituito da unità degli sforzi<sup>142</sup>. Tuttavia, il compito della strategia è quello di rispecchiare gli intenti della politica e non può fare a meno di modellarsi anch'essa all'ambiente esterno.

Il contributo al cambiamento, o meglio a prospettive diverse, sui principi cardine sopra citati, che rimangono a parere di chi scrive ancora in parte validi, proviene, da un lato, dall'innovazione tecnologica (cosa che non deve offuscare la mente nell'innamoramento cieco verso il cosiddetto proiettile di argento), in particolar modo dal concetto di rete e dall'infrastruttura, fisica (spaziale) e non, che ne deriva, e, dall'altro, dall'incessante spinta a porre come riferimento il pensiero strategico classico (qui riproposto in riferimento a Clausewitz), nella convinzione che lo scardinamento dei principi derivanti mostri un passaggio verso nuove ere prometeiche. È vero, invece, il contrario: il fenomeno bellico si mostra nelle sue 'regolarità' nella progressione storica.

Il comportamento collettivo (si potrebbe definire 'sistemico') risulta avere maggiore risalto, dal momento che esso, esattamente come un sistema complesso adattivo di natura biologica, è, allo stesso tempo, l'insieme delle parti che lo compongono, ma più determinante della semplice somma dei comportamenti individuali. Per citare il paragone fatto da Kevin Kelly, si realizza il contrasto tra il modello 'orologio', dove il sistema è la somma della sequenza operativa delle stringhe, e lo *swarming*, in cui il sistema è un complesso mosaico composto da operazioni parallele e simultanee<sup>143</sup>. L'adattabilità come fluidità del comportamento richiama l'organizzazione degli insetti sociali, dove l'inatteso viene contrastato con rapidità nella gestione delle informazioni e nella condivisione dei dati, in particolare, nell'esempio di una colonia di formiche. Queste, a differenza degli altri insetti sociali, fanno uso massiccio di segnali dinamici e uso limitato di segnali tattili o esibizioni motorie (tipiche, ad esempio, delle api), con l'intento del raggiungimento di un regime di equilibrio sub-ottimale in costante cambiamento:

[...] una struttura permanente in un ambiente incerto può ben compromettere il processo di adattamento della colonia e condurla in un regime sub-ottimale. Una reazione possibile in tale circostanza consiste nel mantenere un alto tasso di esplorazione e l'abilità di sviluppare rapidamente strutture temporanee idonee a guadagnare un vantaggio per ciascuna occasione che si presenti come favorevole. In altre parole, sembrerebbe che la casualità mostri un valore adattivo nell'organizzazione sociale<sup>144</sup>.

<sup>142</sup> Edwards, *Swarming and the Future of Warfare*, cit.

<sup>143</sup> K. Kelly, *Out of Control: The New Biology of Machines*, Reading, Cox and Wyman, 1994, p. 27.

<sup>144</sup> G. Nicolis, I. Prigogine, *Exploring Complexity*, W.H. Freeman, New York 1989, p. 233.

La distribuzione dei feromoni necessari per la comunicazione racchiude in sé un pezzo di conoscenza locale che andrà a far parte del comportamento emergente della colonia in risposta a una determinata situazione. L'elevato numero dei membri consente al processo informativo 'computazionale' di ottenere la soluzione ottimale a ogni problema specifico, esattamente come un sistema complesso adattivo.

Tale calcolo rispecchia perfettamente la ricerca evolutiva: il tentativo di un agente incapace di parlare e di vedere, di agenti simultanei, di ottimizzare in maniera computazionale, calcolarla, il percorso in territorio avverso. Le formiche sono una macchina di elaborazione, un processore, parallelo<sup>145</sup>.

Le attività di terrorismo internazionale, ad esempio, come nel caso di Al-Qaeda o dei recenti attentati a Parigi, sembrano mostrare una rete di intelligenza distribuita, garante quest'ultima di un certo livello di viabilità all'interno dell'organizzazione stessa, dove il comportamento emergente si manifesta senza una ben definita gerarchia<sup>146</sup>.

L'agire in sciame, lo *swarming* su un campo di battaglia, si mostra come corollario naturale dell'esecuzione decentralizzata basata sulla condivisione delle informazioni delle operazioni net-centriche, nelle parole di Alberts e Hayes:

In futuro, le piattaforme si evolveranno dall'essere mere entità di rete a veri nodi della rete stessa, a tentativi di organizzazione simili a 'ramificazioni' o 'sciame'. Tale trasformazione sarà totale a tal punto che ramificazioni e sciame evoluti dalle piattaforme esistenti non avranno alcuna somiglianza con i loro lontani predecessori (in una prospettiva generazionale, non in un

<sup>145</sup> Kelly, *Out of Control: The New Biology of Machines*, cit., p. 395.

<sup>146</sup> R. Marion, M. Uhl-Bien, *Complexity Theory and Al-Qaeda: Examining Complex Leadership*, «Emergence», V (1), gennaio 2003, pp. 54-76. Sul comportamento di un terrorista si riporta quanto scritto da Sageman in proposito: «Quando una rete terrorista si imbarca per una nuova e più ampia operazione, le persone coinvolte non sanno esattamente come faranno cosa. Nessun ruolo è specificato prima. Ogni *mujahed* comincia con nozioni generiche di cosa gli viene richiesto e improvvisa con altri *mujahed* o da solo. Le operazioni terroristiche non sono così frequenti al punto di diventare delle routine quotidiane, altrimenti le forze dell'ordine sarebbero ben capaci di prenderli sul fatto e preceverli. Tali operazioni avvolgono tanta incertezza insieme a molti ostacoli previsti. Lo stato delle cose richiede comunicazione continua tra *mujahedin* reciprocamente dipendenti, nel senso che ognuno possiede informazioni e risorse rilevanti per l'altro e nessuno ne ha a sufficienza per agire da solo. A livello locale, il *mujahedin* forma una rete di "processori" di informazioni, in cui ciascuna maglia della rete gestisce grandi quantità di informazioni efficientemente senza sovraccaricare nessun singolo "processore" [...]. Le comunicazioni sono possibili sia in maniera orizzontale tra i vari nodi, consentendo loro di risolvere le loro problematiche localmente senza fare riferimento all'organizzazione centrale e senza sovraccaricare il legame verticale delle comunicazioni». M. Sageman, *Understanding Terror Networks*, University of Pennsylvania Press, Philadelphia 2004, p. 165.

senso meramente temporale). Quindi, nel processo, la nozione stessa di piattaforma evaporerà: la loro *raison d'être* sarà soddisfatta da un nuovo approccio, come conseguenza di una serie di trasformazioni consistenti di un numero persino maggiore di componenti più piccoli, meno capaci e meno sofisticati. Tali raggruppamenti di entità diventeranno infine rami, sciame o altre organizzazioni di componenti altamente specializzati dinamicamente riconfigurabili che lavorano insieme come le cellule del nostro corpo. E, come tali, saranno capaci di essere molto più esigenti e precisi nei loro effetti. Diventeranno meno meccanici e più organici, meno ingegneristici e più 'maturi'<sup>147</sup>.

Il problema del linguaggio di comunicazione tra sensori, satelliti, sistemi a comando remoto presenti nel conflitto richiede la risposta alla domanda del se l'agire come *fire ants*<sup>148</sup> sarà più propriamente l'ultimo scampolo di fattore umano, l'elemento Kasparov, o se invece la comunicazione sarà riservata alle macchine. L'osservazione del fenomeno qui compiuta porta a dire, ad ora, che è in atto un processo di integrazione uomo-macchina, la cui possibilità di indipendenza va di pari passo alla capacità di agire come agente intelligente. In tale risposta consiste appunto l'essere *agilis* come flessibilità e capacità 'evolutiva' della singola unità e, insieme, dell'intero sistema.

La massimizzazione dell'effetto di un attacco distribuito come rete di anticorpi contro un virus diffuso, o di formiche alla ricerca di cibo, rende le truppe anche meno vulnerabili alle reazioni nemiche, in particolar modo in contesti di alta letalità e precisione, essendo le singole unità disperse sul campo e in perenne contatto tra di loro<sup>149</sup>.

#### 7.4.2 Il superorganismo

La comunicazione all'interno di una colonia di formiche, di cui non si vuole di certo compiere un trattato di entomologia o di stigmergia, risponde al tentativo di annotare un dettaglio nella tela teorica con un modesto contributo allo studio del fenomeno bellico nel suo rapporto con la componente operativa di trasmissione spaziale.

L'essenza della vita sociale e organizzativa sta nella comunicazione reciproca e cooperativa, sia essa tra cellule e i tessuti di un organismo, tra gli organuli della cellula stessa, tra gli organismi all'interno di una società, o tra unità sul campo di battaglia. Gli insetti sociali hanno l'interessante

<sup>147</sup> Albert, Hayes, *Power to the Edge*, cit., p. 169.

<sup>148</sup> Espressione coniata da Glenn James, in G.E. James, *Chaos Theory: The Essential for Military Applications*, Naval War College, Newport, Center for Naval Warfare Studies, Newport Paper n. 10, ottobre 1996.

<sup>149</sup> Bousquet, *The Scientific Way of Warfare. Order and Chaos on the Battlefields of Modernity*, cit., p. 213.

caratteristica di adattarsi continuamente all'ambiente in maniera efficiente e efficace (*eu-socialità*), formando, così, un 'superorganismo'. Questo è determinato dalla presenza di «uno stato di eusocialità avanzato, in cui il conflitto interindividuale per il privilegio riproduttivo sia ridotto e la casta dell'operaia sia selezionata in modo da massimizzare l'efficienza della colonia nella competizione intercoloniale»<sup>150</sup>. Thomas Seeley ha brillantemente enunciato un principio portante della biologia in tal maniera: «la formazione di unità di livello più alto attraverso l'integrazione di unità di livello più basso accadrà solamente se l'organizzazione emergente acquisisce le appropriate "tecnologie" per il processo informativo tra i suoi membri»<sup>151</sup>.

La differenza evolutiva delle formiche rispetto agli altri insetti sociali ha fatto sì che queste abbandonassero le grandi distanze per la ricerca del cibo, praticato, invece, dagli imenotteri alati (vespe, api ecc.), facendo affidamento in modo massiccio per la comunicazione sui segnali chimici e limitando notevolmente segnali tattili ed esibizioni motorie<sup>152</sup>. Il corpo delle formiche è ricco di ghiandole esocrine (ne sono state trovate in totale più di quaranta separatamente distinte<sup>153</sup>) per la sintesi delle sostanze chimiche da loro usate come segnali (feromoni). L'uso dell'esecrazione dei feromoni è un fattore determinante per l'ottimizzazione della comunicazione attraverso il loro mescolamento, il conferimento a ciascuno di un significato distinto a seconda della concentrazione dello stesso feromone (contenente informazioni pari a circa quattro bit, o sedici scelte equiprobabili<sup>154</sup>) e la modifica del significato in base al contesto<sup>155</sup>. I dati, informazioni trasferite di natura chimica, riguardano ambiti ben delineati sull'organizzazione della colonia e sulla sua sopravvivenza, dall'allarme in risposta a un'invasione nemica allo scambio di cibo, dalla marcatura del territorio al reclutamento<sup>156</sup>.

<sup>150</sup> B. Hölldobler, E.O. Wilson, *Il Superorganismo*, Milano, Adelphi, 2011, p. 33.

<sup>151</sup> Thomas D. Seeley, *The Wisdom of the Hive. The Social Physiology of Honey Bees Colonies*, Cambridge, Harvard University Press, 1995, p. 247.

<sup>152</sup> B. Hölldobler, *Multimodal signals in ant communication*, «Journal of Comparative Physiology», CLXXXIV (2), 1999, pp. 129-141.

<sup>153</sup> B. Hölldobler, E.O. Wilson, *Il Superorganismo. Bellezza, eleganza e stranezza delle società degli insetti*, Adelphi, Milano 2011, p. 177.

<sup>154</sup> Ivi, p. 237.

<sup>155</sup> Ivi, p. 176.

<sup>156</sup> Gli entomologi hanno distinto almeno dodici categorie funzionali di comunicazione nei repertori degli insetti sociali, quasi tutte di natura chimica: allarme; attrazione; reclutamento; *grooming* (cura del corpo), compresa assistenza nella fase di muta e cura della prole; trofallassi o ectotrofobiosi, condivisione del cibo; scambio di particelle di cibo solido; azione di gruppo; riconoscimento delle compagne di nido; determinazione e divisione in caste; controllo delle riproduzioni; marcatura del territorio e dell'*home range*; comunicazione sessuale. Vd. B. Hölldobler, E.O. Wilson, *The Ants*, Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge 1990.

La colonia si autorganizza, così, nel senso che essa possiede la capacità di produrre una struttura a livello di insieme, senza che si avverta, alla scala del comportamento individuale, anche solo una minima traccia evidente di tale struttura. Il cardine di tale comportamento risiede nella possibilità di trattare l'informazione e di utilizzare procedure alternative per risolvere le eventuali problematiche, siano queste di auto-organizzazione, di leadership o di *template* ('modello', indica cioè la determinazione della struttura attraverso un comportamento pre-esistente ancora non osservato<sup>157</sup>).

L'organizzazione sociale delle formiche non prevede azioni solitarie: come dimostrato, infatti, dall'Università di Losanna una formica operaia (*Camponotus fellah*) che vive da sola con le stesse disponibilità di cibo e acqua ha un'aspettativa di vita un decimo inferiore rispetto a quelle che fanno parte di piccoli gruppi (sei giorni contro sessantasei di media), a causa di problemi digestivi dovuti alla difficoltà di ingerimento, come se la mancata condivisione del cibo, che avviene tramite comunicazione, producesse cambiamenti fisiologici<sup>158</sup>. La comunicazione è un mezzo necessario nella guerra per la sopravvivenza.

Le regole di comportamento del singolo insetto, procedure di elaborazione dell'informazione (si badi bene, elaborazione e non semplicemente trasmissione), rimangono difficilmente quantificabili. Esempio lampante di tale difficoltà di modellizzazione sono i risultati degli esperimenti di Jean-Louis Deneubourg che ha posto un gruppo di formiche di fronte a una scelta binaria. Nella possibilità di approvvigionarsi a due fonti cibo a distanze diverse, di cui una abbondante di saccarosio e una scarsa, la colonia, su cinquanta esperimenti, ha scelto quarantacinque volte la fonte ricca e solo cinque la rimanente povera. Introducendo, successivamente, una differenza temporale di mezz'ora tra la fonte povera e quella abbondante di saccarosio, nelle cinquanta ripetizioni la colonia si è indirizzata, in maniera inversa, quarantacinque volte alla fonte povera e solo cinque alla ricca<sup>159</sup>. La difficoltà di stabilire se, ad esempio, l'informazione contenga anche dati sulla concentrazione, il rischio, la distanza potrebbero comportare la ridefinizione della base teorica dell'auto-organizzazione stessa. La formica, l'animale, l'uomo non sono semplicemente molecole o aggregati di molecole.

<sup>157</sup> J.-L. Deneubourg, *Emergenza e insetti sociali*, in Benkirane, *La teoria della complessità*, cit., p. 81.

<sup>158</sup> A. Koto et al., *Social isolation causes mortality by disrupting energy homeostasis in ants*, «Behavioral Ecology and Sociobiology», LXIX (4), aprile 2015, pp. 583-591; E. Anthes, *Marching one by one. What happens to lonely ant?*, «The New Yorker», 3 marzo 2015.

<sup>159</sup> J.-L. Deneubourg, *L'intelligence collective des insectes*, «Le temps stratégique», 65, Ginevra, settembre 1995, <[http://www.archipress.org/?page\\_id=67](http://www.archipress.org/?page_id=67)> (09/2016).

### 7.4.3 Dinamiche di non-linearità del fenomeno bellico negli insetti sociali

La caratteristica della trasmissione continua delle informazioni sembra quasi assegnare a ogni insetto sociale la quantità di dati necessaria di dati tale che il senso visivo potrebbe essere considerato superfluo. È il caso della formica legionaria *Eciton burchelli*, che si raggruppa di solito in colonie numericamente rilevanti per il singolo attacco, il singolo raid (fino a duecentomila operaie in una falange di quindici metri<sup>160</sup>). La particolarità di tali formiche è che sono quasi completamente sprovviste del senso visivo e la loro velocità di attacco alla preda è totalmente guidata dalla concentrazione più o meno forte di feromone<sup>161</sup>.

Talvolta, il comportamento non si ferma solamente alla chimica del feromone, ma i segnali sono molteplici, come in un campo di battaglia. I memri di *Onychomyrex*, caratteristiche della foresta pluviale dell'Australia nordorientale, hanno sviluppato un comportamento particolare da legionarie, passando da molteplici nidi irregolari costruiti con resti vegetali e compiendo delle spedizioni di caccia notturne di centopiedi o altri artropodi. Ogni cacciatrice, una volta trovata la preda sia pur essa un animale grande e pericoloso, depone una traccia di reclutamento, schiaccia il corpo al terreno e, in maniera discontinua, allunga le zampe posteriori toccando con il terreno la ghiandola sternale presente sull'addome, così da ottenere non solo un segnale per la scorrieria, ma la marcatura del territorio (essendo il feromone altamente volatile) con l'esecrazione della ghiandola posta sullo sterno (un modo particolare di localizzazione non satellitare)<sup>162</sup>.

La guerra, e la guerra per la sopravvivenza, è arte dell'inganno, della dissimulazione. Non pare possibile che i membri della *Polyrhachis Lama* conoscessero Sun Tzu, eppure tale specie parassita imita i feromoni delle *Diacamma*<sup>163</sup>, appropriandosi dei loro segnali e trasferendo la propria prole

<sup>160</sup> Cfr. N.R. Franks, *Army Ants: A Collective Intelligence*, «American Scientist», LXXVII, marzo-aprile 1989, pp. 139-145; N.R. Franks, C.R. Fletcher, *Spatial Patterns in Army Ant Foraging and Migration: Eciton burchelli on Barro Colorado Island, Panama*, «Behavioral Ecology and Sociobiology», XII, 1983, pp. 261-270.

<sup>161</sup> N.R. Franks *et al.*, *The blind leading the blind in army ant raid patterns: testing a model of self-organization (Hymenoptera: Formicidae)*, «Journal of Social Insect», IV (5), settembre 1991, pp. 583-607.

<sup>162</sup> Hölldobler, Wilson, *Il Superorganismo*, cit., pp. 179-181.

<sup>163</sup> La particolarità del caso aumenta se si considera che tale circostanza contraddirebbe la regola di Emery (dal nome di Carlo Emery, entomologo italiano che per primo propose l'idea), secondo cui le specie parassite di norma sono strettamente imparentate con la specie da cui trovano ospitalità. Le due appartengono, infatti, a sottofamiglie differenti, una formicina parassita di una ponerina. R. Deslippe, *Social Parasitism in Ants*, «Nature Education Knowledge», III (10), p. 27.

all'interno del nido di quest'ultime, che ignare allevano e le portano con loro nel caso di trasferimento del nido<sup>164</sup>.

Un tentativo di modellizzazione della conduzione della guerra negli insetti sociali è stato compiuto recentemente (mentre altri tentativi si erano sforzati di trovare dei rapporti troppo semplicistici con la legge di Lanchester)<sup>165</sup> da alcuni ricercatori dell'Università di Firenze. Questi hanno osservato lo scontro tra due specie di formiche (*Lasius neglectus* e *Lasius paralienus*) e, analizzando lo scontro secondo i parametri di interazione e mortalità, hanno mostrato come il comportamento cooperativo della prima specie, attacco *en masse*, permetta il raggiungimento di un'alta capacità di causare numerosi morti nello schieramento avversario<sup>166</sup>. In tal senso, non solo sembra essere in atto una vera e propria strategia di attacco, che combina sincronizzazione e convergenza delle forze, ma, dal momento che vi è una stretta dipendenza della capacità reattiva nello scontro singolo e attacco in massa, sono le condizioni iniziali degli opposenti stessi a determinare i rispettivi comportamenti. Così il principio di non linearità del fenomeno bellico avvolge e offusca il microcosmo.

#### 7.4.4 Formiche elettriche

Lo *swarming* sul campo di battaglia si caratterizza non solo per la distribuzione dell'intelligenza, ma anche per l'auto-sincronizzazione. La presenza di una infrastruttura spaziale in grado di mettere in continuo contatto le singole unità è la condizione necessaria per la trasmissione sinaptica dei flussi di sensori, cui va aggiunta, tuttavia, anche una visione di insieme, sinottica, di controllo remoto, lì esattamente dove vanno collocate le funzioni del Comando e del Controllo. Si è visto, infatti, come anche lo *swarming* venga sempre di più associato al coordinamen-

<sup>164</sup> Hölldobler, Wilson, *Il Superorganismo*, cit., p. 192.

<sup>165</sup> La legge di Lanchester si basa sull'assunto che i dati informativi disponibili consentano di concentrare il fuoco sugli elementi nemici via via contrapposti. La potenza è il quadrato della quantità e varia in modo lineare a seconda della qualità.  $A^2 - (A1)^2 = E [B^2 - (B1)^2]$  dove A e B sono le forze iniziali mentre A1 e B1 quelle finali, mentre E è il coefficiente del rapporto qualitativo tra i due avversari, ovvero il rapporto di perdite che essi si infliggerebbero se fossero quantitativamente uguali. Sulla validità della legge di Lanchester, vd. R.L. Johnson, *Lanchester's Square Law in Theory and Practice*, School of Advanced Military Studies, United States Army Command and General Staff College, Fort Leavenworth 1989; sui dettagli dell'equazione, si consiglia F.W. Lanchester, *Aircraft in Warfare*, Apleton, New York 1916; Id., *Mathematics in Warfare*, in J.R. Newman, *The World of Mathematics*, col. 4, Simon and Schuster, New York 1956, pp. 2138-2157; oppure <<http://www.sjsu.edu/faculty/watkins/war.htm>> (09/2016); sull'applicazione negli insetti sociali, vd. E.S. Adams, M. Mesterton-Gibbons, *Lanchester's attrition models and fights among social animals*, «Behavioral Ecology», XIV (5), pp. 719-723.

<sup>166</sup> E. Santarlasci et al., *Modeling Warfare in Social Animals: A 'Chemical' Approach*, «Plos One», IX (11), novembre 2014.

to tra sistema automatizzato, invece che al fattore umano sul campo di battaglia<sup>167</sup>.

In tale ottica, la garanzia di un vantaggio strategico significativo va di pari passo con la capacità di conferire quanta maggiore autonomia ai sistemi remoti, tale da renderli capaci di comunicare tra di loro e di integrarsi con il fattore umano, aumentando notevolmente la velocità del processo decisionale. L'accostamento dell'elemento massa alla strategia dello *swarming*, come proposto da Paul Scharre, combinando un numero relativamente piccolo di uomini nella gestione e nel controllo dei sistemi automatizzati e un elevato numero di quest'ultimi nelle operazioni, sembra essere una prospettiva piuttosto a lungo termine<sup>168</sup>. Se di 'formiche elettriche' si parla, ovvero di condivisione delle informazioni e percezione sensoriale per la loro ri-elaborazione, l'auto-sincronizzazione (e l'auto-organizzazione) degli stessi dispositivi, satelliti, *in primis*, come strumento operativo di trasmissione, diviene un punto cruciale.

Vari esperimenti sono stati già condotti, come il progetto DARPA *Wolves in War*<sup>169</sup> o della marina statunitense per imbarcazioni a comando remoto<sup>170</sup>. Oltre alla questione relativa all'emersione del comportamento emergente nelle società animali, si è cercato di dimostrare che anche nella natura più elementare la complessità del reale rende slegabile la singola parte dal sistema e difficilmente spiegabili alcuni risultati o comportamenti se non tenuto faticosamente conto delle circostanze iniziali.

Sull'adozione dello *swarming* nei futuri scenari di conflitto, Arquilla e Ronfeldt ne identificano le possibili caratteristiche, come unità autonome o semi-autonome impegnate in assalti convergenti su obiettivi comuni, come modo amorfo ma coordinato di attacco da qualsiasi direzione ('impulsi di supporto' di forza o di fuoco), e, ancora, come unità assai piccole, disperse, collegate e facilmente manovrabili per sorveglianza integrata, di sensori, di C4I per capacità di *top-sight* (osservazione e intervento tempestivo), quindi, come capacità *stand-off* (possibilità di attacco da distanza di sicurezza) e *close-in* (capacità di attacco a corto raggio) e, infine, attacchi designati per distruggere la coesione dell'avversario<sup>171</sup>.

<sup>167</sup> P. Scharre, *Commentary: Swarming the Battlefield*, «DefenseNews», 5 gennaio 2015, <<http://www.defensenews.com/story/defense/commentary/2015/01/05/commentary-swarming-battlefield/21290287/>> (09/2016).

<sup>168</sup> P. Scharre, *Robotics on the Battlefield Part II: The Coming Swarm*, Center for a New American Security, ottobre 2014.

<sup>169</sup> D. Lamothe, *Pentagon agency wants drones to hunt in packs, like wolves*, «The Washington Post», 23 gennaio 2015.

<sup>170</sup> J. Hsu, *U.S. Navy Tests Robot Boat Swarm to Overwhelm Enemies*, «IEEE Spectrum», 5 ottobre 2014.

<sup>171</sup> Arquilla, Ronfeldt, *Swarming and The Future of Conflict*, cit., p. 21.

Tali proprietà permettono, da un lato, di confermare la rilevanza dell'architettura spaziale e la prospettiva di teatro operativo dello spazio, mezzo essenziale di garanzia delle comunicazioni, in particolare per il coordinamento, l'integrazione e la fusione dei dati. Dall'altra, ritornando alla domanda complessiva dei tentativi proposti, la percezione sensoriale (e ultrasensoriale) del campo di battaglia digitalizzato determina la necessità di contrastare la sua opacità attraverso il flusso informativo, tale che la singola unità sia in grado, cooperando e con l'accesso ai dati a disposizione, di muoversi a seconda delle indicazioni che piovono dallo spazio e dall'aereo-spazio, formica cieca guidata dai flussi chimici.

Così, la distribuzione dell'intelligenza nella società delle formiche diviene un utile strumento di paragone della necessità di coordinamento, della impossibilità di determinazione di rapporti lineari di fronte alla complessità del fenomeno bellico e dell'adattabilità evolutiva, dell'essere *agilis* della singola unità e della struttura.

Pare a tal punto necessario interrogarsi sulla valenza del paradigma di John Boyd alla luce dei cambiamenti sopra delineati presenti e futuri. La necessità di operazioni parallele, distribuite e sincronizzate spinge, in prospettiva, verso una rielaborazione dell'*ODAA loop* nella cornice camaleontica delle nuove funzioni C4ISR e, in particolar modo, C5ISR, in cui la C ulteriore, che sta (è bene ricordarlo nuovamente) per *combat system*, qualifica l'opportuna integrazione dei sistemi d'arma e fusione dei dati. Alcuni autori hanno interpretato tali cambiamenti sotto una nuova lente, contenuta nell'acronimo SUDS (*Sense, Understand, Disseminate, Synchronise*), che racchiude in sé quattro determinanti proprietà<sup>172</sup>. La prima, evidente richiamo alla questione della sensorialità, risiede nella percezione dell'intero spettro elettromagnetico attraverso le funzioni di *intelligence*, flussi di dati sensore e flussi di comando. Si fa largo così la necessità di comprendere la propria situazione, quella dell'intero sistema (olisticamente inteso come più della somma delle parti) e del proprio avversario, anche in contesti propri della sfera umana attraverso la conquista del vantaggio informativo, tale da permettere una rappresentazione quanto più ampia e meno opaca nei tre livelli della strategia (e nella sfera politica). L'elaborazione, o meglio la computazione del campo di battaglia prevede, quindi, un passo necessario, disseminare dati, informazioni, bit, stringhe di codice<sup>173</sup>. Non solo. Disseminare vuol dire anche ri-elaborare gli intenti strategici nella fase tattica grazie all'ampia

<sup>172</sup> Cfr. W. Fox, *Switch On the Digitised Battlespace*, «Armada International», 1 ottobre 2011; Thales, *Conflicts: more complexity tomorrow*, 20 giugno 2014, <<https://www.thales-group.com/en/worldwide/defence/case-study/conflicts-more-complexity-tomorrow>> (09/2016).

<sup>173</sup> Non a caso tale proprietà fa parte anche del ciclo dell'*intelligence*. Vd. *Joint Publication 2-0, Joint Intelligence*, Defense Technical Information Center (DTIC),

capacità di manovra e all'esecuzione fortemente decentralizzata del comando, che consiste nel far parte di quella rete comunicativa, di prendere parte alla struttura spaziale e aereo-spaziale della comunicazione in maniera continua. Ecco così raggiunta la sincronizzazione della manovra, degli effetti all'interno del campo di battaglia, ora digitale, culminante nell'integrazione dei sistemi d'arma.

La distribuzione delle informazioni, la loro ri-elaborazione e la capacità di integrare le operazioni, i dati e i sistemi d'arma comportano una preparazione del singolo soldato tale da essere in grado di mostrare quelle capacità dell'essere *agilis* e rispondere al meglio all'incertezza e all'opacità della guerra negli altri ambienti operativi, usufruendo in maniera massiccia del sistema dei sistema, costruito da un'architettura spaziale, una costellazione-sciami di satelliti, garanzia di immediatezza e qualità dell'informazione stessa. Tali proprietà si addicono, per ora, meglio alla formica, che al soldato moderno, dal momento che il programma della forza NEC non è di facile attuazione (si pensi solamente alle infrastrutture, agli standard operativi e agli strumenti adeguati per l'interoperabilità<sup>174</sup>), ponendo seri dubbi sulla possibilità che questa necessaria capacità venga nell'immediato futuro realizzata<sup>175</sup>. Viene da pensare che probabilmente sarà vero, come scrisse una volta San Basilio<sup>176</sup>, che colui che pretende di conoscere la natura delle cose parli prima della natura della formica.

Department of Defense, 22 ottobre 2013, <[http://www.dtic.mil/doctrine/new\\_pubs/jp2\\_0.pdf](http://www.dtic.mil/doctrine/new_pubs/jp2_0.pdf)> (09/2016), p. 6.

<sup>174</sup> Lasciando da parte le annose questioni di finanza pubblica, in particolare per il caso italiano, si rimanda a W. Sintern, *Training NATO for an uncertain future: An interview with Major General Erhard Bühler*, McKinsey on Government, inverno 2014-2015, pp. 25-29.

<sup>175</sup> Si aspetta in tal senso, per il contesto italiano, l'uscita prossima dell'atteso Libro Bianco della Difesa, del quale, per ora, sono disponibili le linee guida. Il documento è disponibile su <[http://www.difesa.it/Content/Pagine/Libro\\_Bianco.aspx](http://www.difesa.it/Content/Pagine/Libro_Bianco.aspx)> (12/2016). E le relazioni dei partecipanti al Convegno Nazionale sulla Sicurezza Internazionale e la Difesa (vd. l'analisi del documento su <<http://www.venusinarms.com/?p=658>>, 12/2016). Si consigliano, inoltre, per un'immagine del dibattito su tale tematica, gli aggiornamenti presenti online all'indirizzo: <<http://www.venusinarms.com/>> (09/2016).

<sup>176</sup> «Ὁ τοῖνον τῶν ὄντων τὴν γνῶσιν ἐπικομπάζων, τέως τὴν τοῦ μύρμηκος φύσιν εἴπατο», nella traduzione inglese: 'Let him, therefore, who boasts the knowledge of actually existing things, first tell us of the nature of the ant'. Basilius Magnus, *The Letters*, a cura di Roy J. Deferrari, Harvard University Press, Cambridge 1961 (III ed.), Lettera XVI, pp. 116-117.



## CONCLUSIONI

### 1. *Uso militare dello spazio: quale futuro?*

L'uso militare futuro dello spazio, nel senso, ad ora, di installazioni di sistemi militari passivi, del tipo dei dispositivi satellitari, è destinato a crescere. Non solo l'analisi qualitativa ma anche quella quantitativa suggerisce che lo spazio sarà sempre di più strumento necessario non solo a livello strategico ma anche a livello tattico-operativo.

Al largo insieme di dispositivi satellitari di tipo militare vanno aggiunti i satelliti che svolgono funzioni di tipo civile (satelliti fotografici, meteorologici, delle telecomunicazioni ecc.), i possessori dei quali, talvolta, pongono gli stessi Stati in una situazione subalterna, in particolar modo quelli militarmente ed economicamente meno avanzati, tanto da far emergere una componente geo-economica legata all'uso dello spazio. Le implicazioni di tipo economico (che qui non abbiamo potuto discutere) potrebbero mostrare tutta la loro rilevanza in situazioni di conflitto (si pensi ad esempio che le note immagini delle truppe russe in territorio ucraino sono state scattate da un satellite civile) e portare con sé la necessità di una paradossale ridefinizione della subordinazione alla politica della strategia spaziale.

Seguendo quanto proposto da Gori<sup>1</sup>, le quattro funzioni del delta moltiplicatore dello spazio si manifestano in tal maniera nelle fasi seguenti.

- In tempo di pace: funzioni ISR, meteo, rilevamenti fotografici ecc.
- In tempo di crisi: *early warning* e allerta contro attacchi di vario tipo.
- In tempo di guerra: garanzia delle telecomunicazioni anche in ipotesi catastrofiche di attacco nucleare.
- Nella fase tattico-operativa: controllo delle forze.

Cambiamenti all'orizzonte nell'uso militare dello spazio portano a riconsiderare tale suddivisione alla luce della maggiore facilità di accesso allo spazio, della prospettiva di abbattimento dei costi, legata anche

<sup>1</sup> U. Gori, *Lezioni di Relazioni Internazionali*, Cedam, Padova 2004 (II ed.), p. 216.

all'ingresso di colossi dell'economia come Google o Amazon nel settore, e della relativa diffusione di attori con capacità spaziali.

La protezione e la salvaguardia dello spettro elettromagnetico nella sua componente spaziale, la cui importanza parrebbe non essere stata ancora percepita dagli attori, sarà la garanzia per il corretto espletamento delle funzioni strategiche e operative. Il fattore cibernetico ha, poi, aumentato la facilità degli attacchi a dispositivi spaziali, portando al necessario incremento della protezione delle architetture spaziali non solo dal punto di vista *hardware* ma anche *software*.

Un altro cambiamento è rappresentato dalla caratteristica dello spazio come autostrada di dati e informazioni, sebbene non come strumento meramente trasmissivo, avendo esso acquisito una notevole capacità operativa (si pensi alla guida per UAV) nella conduzione dei conflitti e delle operazioni.

Alla luce di tali considerazioni va qualificata la definizione stessa dello *spacepower* come aggregante dei seguenti fattori (vd. cap. 1): capacità di utilizzo e di esplorazione dello spazio; controllo dell'ambiente spaziale in tempo di pace, guerra o crisi internazionale (*Space Situational Awareness*, SSA); peculiarità dell'ambiente spaziale; logica politica di una strategia spaziale; effetti di tale strategia; capacità astronautica; utilizzo dello spazio da parte di attori non-statali.

La suddivisione proposta da Gori appare indebolita dalla constatazione che oggi il controllo dello spazio e del suo campo elettromagnetico debba essere continuo per assicurare il processo informativo necessario sia in tempo di pace, che di crisi, di guerra o di condotta delle operazioni, constatazione rafforzata dalla facilità che i dispositivi satellitari siano target potenziali assai appetibili di attacchi cibernetici (vd. cap. 4).

Il comportamento degli attori nei confronti dell'ambiente spaziale rispecchia l'immagine metaforica di un pendolo che oscilla tra due estremi opposti: nel primo estremo esso raggiunge un comportamento realista simbiotico e unidirezionale verso l'ampia occupazione dello spazio, nell'altro, invece, tocca la messa in sicurezza del santuario di tale ambiente. Non si deve cadere nella pia illusione di considerare ancora valide le scuole di pensiero proposte da Lupton sulla militarizzazione dello spazio extra-atmosferico, ovvero di (ri)proporre paradigmi semplicistici per la comprensione di fenomeni complicati. Esse si riferiscono in maniera sin troppo stringente a un periodo, quello della Guerra fredda o a essa immediatamente successivo, ora, nella sua componente spaziale (e non solo) non più valido. Le ragioni sono le stesse del termine forte e del termine debole qui proposto.

Infatti, il realismo simbiotico si mostra nella sua totalità nel rapporto tra gli attori nella questione relativa alle frequenze, ad esempio, o nelle difficoltà di interoperabilità in ambito NATO (vd. cap. 5) o ancora in un certa innovazione tecnologica votata *in toto* a impedire l'accesso

all'ambiente spaziale (vd. cap. 4). La messa in sicurezza dello spazio è data, invece, dalla costante presenza di una certa retorica, largamente diffusa, che vede lo spazio come *Global Commons*, come un bene di tutti da condividere, arrivando a proporre un regime di riferimento di tale ambiente, presente nei fondamenti giuridici del trattato sullo spazio extra-atmosferico (1967) e nel *Moon Treaty* (1978).

Gli attori oscillano tra questi due estremi, mostrando talvolta sensibilità nei confronti dello spazio come nella questione dei detriti spaziali e, ad esempio, nella diffusa condanna al test ASAT cinese del 2007, accompagnata, invece, dalla presenza di una certa retorica verso la condivisione della ricerca per l'esplorazione spaziale (dovuta anche alle peculiarità del comparto industriale) e comportandosi in maniera difforme allorché si presentino situazioni per loro vantaggiose segnate dall'aumento costante del numero di satelliti, in particolar modo in orbita bassa terrestre, dalla già citata competizione per le frequenze e la messa in orbita di dispositivi tecnologicamente vantaggiosi, dal mancato raggiungimento di un accordo giuridico adeguato, che tenga presente dei cambiamenti attuali, e dalla necessità di accesso immediato alla quantità di dati presente nei dispositivi satellitari (e anche per tale ragione, la tendenza di un aumento del potere trasmissivo dei dispositivi satellitari è prevedibile nell'immediato futuro). Il termine forte, che indica lo stato di fatto esistenzialmente più rilevante, come ricorda Bobbio<sup>2</sup>, non può che essere la rappresentazione dello spazio come mezzo strategico determinante per il vantaggio informativo, e il relativo comportamento realista (e in simbiosi) degli attori.

Una parziale comunione tra i due estremi potrebbe realizzarsi nel riconoscimento del compito di associazioni quali la SDA (*Space Data Association*), che collabora con vari attori statuali e non, tra i quali il Dipartimento della Difesa statunitense, agenzie spaziali nazionali, come la NASA, e compagnie private (SES, Inmarsat, Eutelsat, Intelsat, Airbus, Amos, Arabsat, Avanti, Es'hailSat, Echostar, O3B Networks Limited, Optus, PlanetLabs, Space System Loral, Star One, TSB, AGI, ManSat)<sup>3</sup>. L'associazione si propone come organizzazione-ombrello, bacino di raccolta dei dati dei dispositivi di proprietà degli operatori satellitari per contribuire all'integrità, alla salvaguardia e alla messa in sicurezza delle operazioni spaziali. Forse, *in nuce*, questo potrà mostrarsi come primo tentativo di costruzione di un regime dello spazio extra-atmosferico, almeno se si configurerà come forza di spinta per comportamenti conformi degli attori.

<sup>2</sup> Vd. N. Bobbio, N. Matteucci, G. Pasquino, *Dizionario di Politica*, DeAgostini, Novara 2014, pp. 617 ss., relativamente alla definizione di 'pace'.

<sup>3</sup> <<http://www.space-data.org/sda/about/membersandparticipants/>> (09/2016).

La possibilità di considerare lo spazio, per riprendere il titolo di un libro di Cerutti<sup>4</sup>, una «sfida globale per il Leviatano» è strettamente legata ai rovinosi effetti che la distruzione dei dispositivi satellitari avrebbe sull'economia e sulla sicurezza reale o percepita degli attori, ma non si prospettano, ad ora, nessun dilemma della sicurezza spaziale, nessuna corsa agli armamenti spaziali, nessun effetto altamente distruttivo se non letale tale da qualificare un uso pacifico dello spazio come materia di interesse primario per il Leviatano. La difficoltà di porre un mostro che possa ben incarnare la qualità di *dominus* dello spazio a livello dialettico e teorico (vd. cap. 1) ben inquadra la reale possibilità che si possa giungere nel breve periodo a un regime dello spazio extra-atmosferico.

L'uso militare dello spazio attuale e futuro come delineato dall'ambiente operativo trasmissivo spaziale ha connotato maggiormente le sue funzioni in chiave tattico-operativa, apportando un graduale cambiamento di indirizzo nello sviluppo di armamenti che possano interdire, in maniera parziale o totale, l'uso dei dispositivi satellitari all'avversario<sup>5</sup>. Qualora vi dovesse essere questa opportunità, anche se in un futuro piuttosto remoto, ferma restando l'ipotesi forte sopra citata, non è da escludersi che lo spazio venga utilizzato anche come fonte di attacchi diretti negli altri ambienti operativi: sarebbe una rovina, ben lo ricorda il Machiavelli, qui ripreso nel titolo del quarto capitolo, se un attore non badasse alla realtà effettuale delle cose (vd. cap. 2).

Tale indirizzo è rafforzato da un'attività di *intelligence* che mira a conseguire una visione geo-localizzata dei dati, comprese mappe, immagini, foto, dati sensore, attraverso satelliti commerciali o velivoli. La descrizione, valutazione e rappresentazione visiva delle caratteristiche fisiche e delle attività compiute sulla Terra, denominata GEOINT, GeoIntel, o GSI (*Geospatial Intelligence*), rafforza il legame che unisce più strettamente l'ambiente spaziale all'ambiente aereo rispetto agli altri ambienti operativi. Se di strategia spaziale si parla, questa mostra i suoi effetti moltiplicatori in maniera geometrica rispetto ai sistemi aerei. Tale è anche la ragione principale per cui l'assenza di una forza armata spaziale, dedicata cioè in maniera esclusiva allo spazio, non rappresenta ancora una *diminutio capitis* del settore difesa, ferma restando la necessaria constatazione di una crescente importanza del settore spaziale nei suoi effetti sugli altri ambienti operativi.

<sup>4</sup> Il libro cui si fa riferimento è: F. Cerutti, *Global Challenges for Leviathan: A Political Philosophy of Nuclear Weapons and Global Warming*, Rowman&Littlefield, Lanham 2007.

<sup>5</sup> Si noti come ad esempio i primi due capitoli del *Military Balance 2015* dell'IISS siano dedicati rispettivamente a sistemi d'arma a energia diretta e ai sistemi militari spaziali. Cfr. <<https://www.iiss.org/en/publications/military%20balance/issues/the-military-balance-2015-5ea6>> (09/2016).

Da un altro punto di vista, in futuro non sarà il potere aereo ad assorbire il potere spaziale, mentre avverrà piuttosto il contrario, sintetizzando e risolvendo lo scontro tra forze di superficie e aviazione. Qui sta anche il nodo di Gordio per la *pars construens* della strategia dello spazio, almeno in prospettiva sino a quando, parafrasando Friedman, non certo uno scrittore di fantascienza, le forze armate nipponiche, che avranno una base militare lunare, non si scontreranno con le forze armate turche per la prima vera *Battle Star*<sup>6</sup>.

## 2. Sulla natura umana dei guerrieri spaziali

«I futuri guerrieri spaziali occuperanno tali posizioni [punti strategici, cap. 1] assicurando la superiorità ai guerrieri della conoscenza che combatteranno sulla Terra la *cyber*, le *net* e le *softwars*»<sup>7</sup>. Così il generale Carlo Jean ha mostrato la propria lungimiranza sul futuro impiego strategico dello spazio. Anzi, giunti a tal punto, si potrebbe rafforzare maggiormente tale affermazione sottolineando l'imprescindibilità della strategia dello spazio per la *cyber* (che ormai ha coinvolto tutti gli ambienti operativi del campo di battaglia), le *net* e le *softwars*, con l'aumento della portata e del numero dei punti strategici dovuto a una certa tendenza sostitutiva del mini-satellite in orbita LEO e MEO con il drone.

Si potrebbe porre la questione interrogandosi su quanto i 'guerrieri spaziali' debbano possedere talune capacità, essere in grado, cioè, di trasmettere semplicemente quanto viene loro inviato o se essi debbano, invece, eseguire una vera e propria ri-elaborazione dei dati o se questa debba essere fatta a livello decisionale nel segmento terrestre. Che in futuro si parlerà sempre di più di forze spazio-terrestri, aereo-terrestri o, meglio, *astro-terrestri* non è un vaticinio ma il frutto di un'attenta osservazione del fenomeno.

La prospettiva ri-elaborativa pone un problema di fondo sull'autonomia che dovrebbero avere tali 'guerrieri spaziali', sull'ipotesi che si possa parlare di postazioni umane presenti nello spazio in orbita GEO e sulla possibilità che tale funzione debba essere svolta dai dispositivi satellitari. I satelliti, infatti, potrebbero compiere la prima scrematura necessaria a non invadere il processo decisionale (il ciclo informativo, l'*OODA loop* o il SUDS), rischiando di inondare di dati e informazioni non necessarie il processo di Comando e Controllo. Certo è che la scelta del necessario è

<sup>6</sup> G. Friedman, *The Next 100 Years. A Forecast for the 21st Century*, Doubleday, New York 2009, pp. 166 ss.

<sup>7</sup> Cit. presentazione del prof. U. Gori, *Geopolitica e Geostrategia*, Università di Firenze, <[http://www.cssi.unifi.it/upload/sub/GEOPOLITICA\\_e\\_GEOSTRATEGIA\\_presentazione.pdf](http://www.cssi.unifi.it/upload/sub/GEOPOLITICA_e_GEOSTRATEGIA_presentazione.pdf)> (09/2016).

per sua natura determinante e ricade in quelle funzioni che Clausewitz a ragione attribuiva al comandante, al suo colpo d'occhio, al suo genio. Al di là di improbabili, è il caso di dirlo, ipotesi di postazioni umane orbitali, a mo' della Stazione Spaziale Internazionale, così come di basi militari lunari o spaziali, è sulla Terra che si combatte la guerra e lo spazio altro non è che un'immagine-specchio delle forze che si scontrano negli altri ambienti operativi. Mentre l'innovazione tecnologica, come la comunicazione da macchina a macchina (M2M) o la comunicazione quantistica dei satelliti potrebbe cambiare la natura delle informazioni, aumentandone la facilità di scambio, si intravede la poetica opportunità, riprendendo la definizione del generale Jean, di porre qualche annotazione conclusiva.

Se per guerrieri spaziali si intendono, in realtà, satelliti operanti come sentinelle dello spazio, per questi, qui ed ora, la tecnologia non è matura a tal punto per cui essi possano agire e comportarsi in maniera indipendente dagli assetti degli altri ambienti operativi. In tal senso, se si vuole aggiungere l'aggettivo 'spaziale' al termine guerriero, parrebbe necessario connotarlo, in diversa maniera, con un suffisso o un prefisso aggiuntivo che possa ricollegarne la funzione al delta moltiplicatore dell'ambiente spaziale. La natura del guerriero *astro-terrestre* ha due strade avanti a sé, non per forza parallele.

La prima si trova lungo il percorso, quasi dannunziano, dell'ultra-sensorialità della forza terrestre, aerea o marittima. Mentre nell'ambiente terrestre l'integrazione tra uomo e macchina è segnata dall'aumento della capacità sensoriali dell'uomo, come ad esempio nella *cyborg experience* dell'incremento delle capacità visive, ad esempio, con l'uso di visori, negli altri ambienti operativi la natura stessa della relazione parrebbe indirizzarsi alla comunicazione da macchina a macchina (come nel rapporto tra UAV e satellite, o dei PGM a guida satellitare). Tale integrazione pone l'accento sull'autonomia dei dispositivi, considerate anche le difficoltà di trovarsi di fronte all'interpretazione di un numero e di una varietà sempre più considerevole di dati, e pone questioni di carattere particolare sulla natura intelligente della macchine stesse, le quali, nel passo immediatamente successivo, per usare un paragone efficace, non saranno solo l'utile mezzo di produzione di segnali elettromagnetici e dati per l'uomo, le ghiandole esocrine indispensabili per il conflitto, ma diverranno loro stesse formiche elettriche.

Il secondo indirizzo rivede tale relazione tra il fattore umano e la macchina nella subordinazione di quest'ultima al primo e nell'essenza meramente trasmissiva del satellite all'interno del processo decisionale per conferire qualità e completezza alle funzioni di Comando e Controllo. Un maggior risalto del compito strategico, e quindi politico, dello spazio pare evidenziare in tale prospettiva la necessaria conduzione remota delle operazioni sia in funzione di prevenzione, sia nelle fasi di crisi e di

conflitto. Il centro decisionale diverrebbe una mera raccolta di dati, anche quando si raggiungesse la quasi istantaneità e immediatezza di trasmissione, mentre il suo compito ri-elaborativo rimarrebbe, comunque, da eseguirsi in maniera centralizzata e univoca nel centro di comando. L'elemento di decentralizzazione della fase di esecuzione scuote la visione in maniera profonda e quasi insanabile: il guerriero *astro-terrestre*, forte della possibilità di integrarsi con elementi automatizzati, avrà egli stesso un certo grado di scelta, a maggior ragione tenendo presente la natura dei conflitti in situazioni di *C2 Edge* e di inter-connesione con le altre unità sul campo.

L'entrata nel *loop* del guerriero *astro-terrestre* nel trasmettere e ricevere informazione in maniera costante, mentre conferisce un grado operativo elevato all'uso dello spazio, dei dispositivi satellitari, ora sì sentinelle, non sembra confermare le considerazioni di Luttwak sulla guerra nell'età post eroica<sup>8</sup>, dove la smobilitazione del campo di battaglia non produrrà né eroi né vittime. Sembra, invece, se si dovesse realizzarsi un completo espletamento dell'uso tattico dello spazio, concretizzarsi la possibilità – e qui sta anche la rivincita di Mecozzi su Douhet (vd. cap. 1) – di un aumento della letalità, prodotto dal collegamento terra-spazio del guerriero o dalla guida satellitare per la fusione dei sistemi d'arma, racchiusa nel concetto di *combat cloud*, mentre le ricadute di un attacco ai dispositivi satellitari non concederebbero margine a virtualizzazioni del conflitto, anche in presenza di una mancata coscienza diffusa sui suoi effetti letali (non solo economici).

Sulla natura umana dei 'guerrieri spaziali', la rivelazione di nuovi elementi automatizzati nel campo di battaglia, pur spersonalizzando apparentemente il fenomeno bellico, pare essere, in quanto azione frutto delle volontà strategiche e, prima ancora, politiche, la vittoria della componente più umana che ci sia: l'armonia del *Greek* con il *geek*, per dirla con Coker, dell'uomo greco con il *nerd*, la conciliazione della ragione con la tecnica, l'incarnazione dello spirito nel corpo. A voler vedere una certa razionalità nel progresso della storia, siamo piuttosto di fronte a un punto di rottura verso un'età dell'uomo, in cui la prossima semantica sarà presa in prestito dai linguaggi di programmazione, per richiamare Vico, o alla liberazione di Prometeo, per riprendere non Eschilo, bensì Percy Bysshe Shelley, di fronte non più alla rivoluzione industriale, come in Landes<sup>9</sup>, ma nella connessione delle parti con il tutto dell'infrastruttura spaziale.

<sup>8</sup> E.N. Luttwak, *Post-Heroic Warfare and Its Implications*, NIDS International Symposium on Security Affairs, ottobre 1999.

<sup>9</sup> Si fa riferimento a D.S. Landes, *The Unbound Prometheus: Technological Change and Industrial Development in Western Europe from 1750 to the Present*, Press Syndicate of the University of Cambridge, Cambridge 1969.

### 3. Il fenomeno bellico nel punto Omega

Le ripercussioni della linearità del fenomeno bellico spaziale nell'incontro con il caos negli altri ambienti operativi sono il risultato finale di un approccio evolutivo alla guerra da parte degli attori che vi prendono parte. La matrice di tale processo percorre il proprio cammino di pari passo all'innovazione tecnologica, ma anche all'adattamento del complesso delle forze armate a questa. La speculazione teorica è lo strumento più adatto a inquadrare il fenomeno, almeno nell'interazione tra l'apparente ossimoro dell'ordine della guerra spaziale, l'uso dei dispositivi passivi di trasmissione o, anche, qualora si dovessero considerare future installazioni di armamenti di ogni tipo, allorché l'azzeramento della presenza dell'uomo si dimostri una condizione necessaria. Non si è di certo di fronte alla convinzione dogmatica, limitata per natura, secondo la quale il progresso tecnologico mascherato nell'infrastruttura spaziale e nel continuo processo informativo annullerà, prima o poi, l'opacità della guerra (in tal senso ha avuto ragione Van Creveld<sup>10</sup>). D'altronde, la guerra è l'attività umana, lo ricorda Clausewitz, che più contiene dentro di sé elementi di disordine, di caso e di attrito.

Il segmento spaziale, nella sua natura operativa e trasmissiva, riversa nel conflitto, nelle operazioni e nella fase decisionale elementi di ordine, che altro non sono che dati, i quali vanno a loro volta interpretati, rielaborati e resi oggetto di interazione. Un cambiamento ulteriore potrà essere rappresentato dal superamento *in toto* del fattore umano sul campo di battaglia. Ma non di questo si parla. Né queste sono le prospettive a breve o medio termine, o non sembrerebbero essere tali. La ricerca di un punto di convergenza tra strategia spaziale e strategia negli altri ambienti operativi, o meglio tra linearità e non linearità della guerra, o, ancora una volta, tra sistema automatizzato e fattore umano, risponde ai chiari tentativi di rispondere all'incertezza, di prepararsi all'imprevedibilità, avendo dalla propria la sicurezza del vantaggio informativo dato dall'infrastruttura spaziale.

Tale sforzo deve tener presente, in ultima analisi, il principio antropico, ovvero la centralità e il ruolo 'privilegiato' dell'uomo all'interno del fenomeno bellico, l'aumento esponenziale della mole dei dati e delle informazioni nella conduzione dei conflitti man mano che ci si avvicina all'orlo del caos (*Edge*) e la divergenza tra velocità di risposta, sia nel pro-

<sup>10</sup> Così Martin Van Creveld: «Credere che le guerre del futuro, grazie a qualche straordinario avanzamento tecnologico, ancora non avvenuto, nel campo della computerizzazione o dei sensori a controllo remoto, saranno meno opache e, quindi, più facilmente sottoponibili al calcolo razionale rispetto a quelle del passato è, di conseguenza, una pia illusione». M. Van Creveld, *Command in War*, Harvard University Press, Cambridge 2003, p. 266.

cesso decisionale sia nella esecuzione del comando, e quantità di informazioni. Il punto di convergenza, o per prendere un termine a prestito dalla fisica, di 'singolarità' (punto intorno al quale l'attrazione gravitazionale tende all'infinito, all'orlo del buco nero) è rappresentato proprio dall'incontro tra linearità e non linearità della guerra, nella sintesi tra il dispositivo satellitare e l'azione sul campo di battaglia, tra i dati e il comportamento in base a questi. La scelta della difficile collocazione di tale punto di equilibrio e di sintesi, del punto Omega, come «*évasion hors de l'Entropie*» nelle parole di Teilhard de Chardin<sup>11</sup>, deve ricadere nella distribuzione dell'intelligenza, nella rivelazione massima dei dati, nella comprensione della verità per mezzo del sapere, e nel caso in cui essa comporti l'integrazione uomo-macchina e nel caso di operazioni completamente automatizzate.

#### 4. *Bellum non facit saltum*

Il fenomeno bellico spaziale si mostra con le sue caratteristiche peculiari proprie dell'ambiente operativo in cui opera. L'emersione di una *pars construens* della strategia spaziale è il frutto, qui, di considerazioni sul pensiero strategico classico, o meglio della disamina dei principi strategici, in particolare quelli di Clausewitz, rispetto all'ambiente spaziale. È come, per usare una metafora, quando, in situazioni immediatamente precedenti ai maremoti, le acque si ritirano esponendo il fondale per poi abbattersi violentemente sulla costa nel giro di pochi minuti. La ripresa di Clausewitz, anzi dei principi che più hanno caratterizzato il suo pensiero come lo scontro di volontà, l'attrito, il caso, è stato il tentativo di trovarne ed esaminarne le radici, o il fondale, prima che le onde si infrangessero con tutta la loro potenza contro il litorale del fenomeno bellico spaziale.

In altri termini, la ricerca di elementi che potessero connotare l'ambiente spaziale come la placenta della guerra automatizzata, dell'assenza, o riduzione al minimo della presenza del fattore umano, è stata la forza motrice per la costruzione di una strategia spaziale. Anzi, potrebbero sorgere dubbi sull'ipotesi stessa della correttezza dell'espressione 'guerra spaziale', esclusivamente condotta in tale ambiente operativo, o se questa sia solo una visione fantascientifica (o una distopia) di guerre future troppo lontane. D'altronde, manifestando questa, la strategia spaziale, i propri effetti determinanti negli altri ambienti operativi, l'incontro-scontro con la conduzione e il comportamento in guerra sulla Terra è la naturale prosecuzione del percorso sopradescritto, sino all'unità più pic-

<sup>11</sup> P. Teilhard de Chardin, *Le phénomène humain*, Editions du Seuil, Parigi 1955, p. 273.

cola del singolo soldato nella distribuzione delle informazioni attraverso l'architettura spaziale alle parti del sistema.

La cornice delineata dallo scontro tra ordine del fenomeno bellico spaziale e caos della guerra terrestre ha permesso l'inquadramento della relazione nel più complicato rapporto tra fattore umano e macchina, tra guerra e *thécne*, in un'accezione non negativa di quest'ultima nel senso di apertura al 'mistero dell'essere' del tardo Heidegger. Il fenomeno bellico nel suo rapporto con la tecnologia (almeno per quanto indagato nell'interazione tra componente spaziale e terrestre) si comporta accumulando leggere variazioni favorevoli, e non grandi modifiche teoriche o di dottrina militare. D'altro canto, la riformulazione degli stessi principi strategici cosiddetti classici corre il rischio di sfociare in discussioni infruttuose a causa di una loro invocata e forzata invalidazione.

Da qui, l'adagio *bellum non facit saltum* va inteso come processo evolutivo del fattore umano nel rapporto tra questo e il dispositivo satellitare all'interno del fenomeno bellico, tra spazio e forze terrestri nel punto di equilibrio racchiuso nella sintesi tra i due (nel punto Omega), identificato sopra nella distribuzione dell'intelligenza come punto di fuga dall'entropia o, semplicemente, nella rappresentazione delle funzioni di un visore o di un'antenna, ricevitore e trasmettitore di informazioni 'necessarie' alla conduzione delle operazioni. L'espressione latina che riprende il *natura non facit saltum* usato in biologia per descrivere l'evoluzione, non vuole accostare comportamenti sociali e base biologica né questo è l'intento dell'arduo paragone effettuato sulla distribuzione dell'intelligenza negli insetti sociali (proprio la tendenza alla cooperazione di questi, tra l'altro, ha fatto temere allo stesso Darwin lo sconvolgimento della sua teoria sulla selezione naturale). Quello che si è inteso evidenziare è una certa guida egoistica di difesa del sé del comportamento animale e come questa presti il fianco a interpretazioni negli aspetti più vari (qui nella natura della guerra) delle scienze sociali. L'emersione di un strategia *en masse* della formica o la capacità di distribuire le informazioni in maniera più o meno uniforme è un esempio di come la cooperazione nel fenomeno bellico anche a livello microscopico sia determinante. Non si prospetta nessuna accezione di valore neanche nel condividere il pensiero di Konrad Lorenz<sup>12</sup>, quando sottolinea la comunanza di leggi naturali per la comprensione di ogni aspetto del mondo reale, la loro non contraddizione e la loro impossibile infrazione. Se un riferimento alle cosiddette *hard sciences* e, in particolare, a alcuni principi della fisica (come la seconda legge della termodinamica), cosa che aveva capito e compreso Clausewitz co-

<sup>12</sup> «Così credo, ad esempio, che l'universo è retto da un unico insieme di leggi naturali tra cui non esistono contraddizioni possibili e che non vengono mai infrante». K. Lorenz, *Gli otto peccati capitali della nostra civiltà*, Adelphi, Milano 2007, p. 112 (titolo originale *Die acht Todsünden der zivilisierten Menschheit*, 1973).

me Boyd, vuole ricercarsi in queste pagine, esso va inteso nel senso non tanto della giustificazione di alcune caratteristiche, nate dall'osservazione del fenomeno bellico spaziale, quanto dell'abbandono di tutti i giudizi di valore. La guerra potrebbe esser vista così non più (o non solo) come lo strumento ma come il fondamento organizzativo di ogni sistema sociale<sup>13</sup>. Questo rinnegherebbe Clausewitz, demolirebbe il padre e le radici di quanto scritto, ma non si sono visti passare, per ora, nel rapporto tra il fenomeno bellico spaziale e terrestre e nelle considerazioni da qui emerse, *kairoi* che attraversano la storia per inevitabili parricidi.

### 5. Possibili approfondimenti futuri

Il tassello aggiuntivo alla costruzione di una teoria della strategia spaziale parte da considerazioni che legano lo spazio agli altri ambienti operativi. I tre tentativi qui proposti (approccio cognitivo, simulazione e preparazione all'incertezza, comprensione del fenomeno attraverso il paragone della distribuzione dell'intelligenza negli insetti sociali, in particolar modo in una colonia di formiche) per abbattere l'incertezza nell'incontro tra fenomeno bellico spaziale e terrestre prendono spunto dalle caratteristiche proprie dallo spazio che complicano una verifica empirica del fenomeno. L'aumento in maniera costante del numero di satelliti, in particolar modo di satelliti per le comunicazioni, prospetta un chiaro indirizzo verso un uso trasmissivo dell'ambiente spaziale. Il satellite diventerà così sempre di più un target potenziale di futuri attacchi elettromagnetici e cibernetici, per impedire il processo informativo o sottrarre informazioni determinanti all'avversario. A livello teorico contributi alla costruzione di una strategia spaziale e alla comprensione della relazione tra l'uso militare dello spazio, ad ora con dispositivi di tipo passivo, e la conduzione della guerra negli altri ambienti operativi potrebbero prendere spunto anche da quanto qui emerso relativamente alla necessaria distribuzione dell'intelligenza sul campo di battaglia per aumentare la *shared awareness* e realizzare quel percorso che dalla teoria delle operazioni net-centrica si muove verso lo *swarming*. Ricerche potrebbero essere condotte nei tre livelli proposti.

A livello della microfisica della singola azione del soldato nelle interazioni che potrebbe avere questa con le parti e all'interno della struttura organizzativa, tramite lo studio delle dinamiche del rapporto tra il processo informativo e la singola unità, o l'applicazione degli studi con-

<sup>13</sup> Si veda, ad esempio, in tal senso il rapporto anonimo *Report from Iron Mountain* (1961), citato anche da Gori in Gori, *Lezioni di Relazioni Internazionali*, cit., pp. 218-219. È possibile leggere il rapporto su <[http://dosfan.lib.uic.edu/ERC/arms/freedom\\_war.html](http://dosfan.lib.uic.edu/ERC/arms/freedom_war.html)> (09/2016).

dotti da Alberts di fronte alla sempre maggior connessione tra le parti all'interno del campo di battaglia: un esempio potrebbe essere indagare la gestione della comunicazione nell'esecuzione decentralizzata del comando di fronte a una quantità notevole di informazioni, nel ruolo di sintesi del visore tra dati e gestione delle operazioni o, ancora, nel processo di adattamento nella trasposizione di concetti legati all'informatica come il *combat cloud* all'interno del fenomeno bellico.

A livello intermedio, nello sviluppo, ad esempio, della proposta di simulazione qui avanzata per verificare la divergenza tra necessaria capacità di velocità di risposta e quantità, volume e varietà dei dati. Due prospettive di studio potrebbero indirizzarsi poi verso la simulazione con agente o la simulazione con *avatar*. Nella prima, già largamente usata, si potrebbe verificare l'adattamento della singola unità di fronte a situazioni di stress e introdurre elementi di non linearità, nel caso di un'assenza di segnale dovuta a un attacco elettromagnetico oppure semplicemente nella difficoltà di localizzazione delle unità per la condotta delle operazioni. Nella seconda, nel caso di utilizzo di *avatar* per la simulazione, potrebbero farsi avanti nuovi spunti teorici che abbracciano altri studi come la psicologia, l'informatica nella costruzione della realtà virtuale e, insieme, l'industria dell'aereo-spazio. L'*avatar* potrebbe dimostrarsi lo strumento ideale per la preparazione del singolo soldato alla complessità del fenomeno bellico, per la comprensione di dinamiche di personalizzazione o di collaborazione nella realtà virtuale, per la verifica di nuove dottrine, tra cui lo *swarming* stesso, e del rapporto tra la componente spaziale e gli altri ambienti operativi. Le difficoltà pratiche, infatti, di inserire lo spazio in fasi di addestramento reali limita anche il settore industriale stesso, che si è indirizzato sempre di più verso la simulazione attraverso *software* di costruzione della realtà virtuale o analisi del prodotto.

A livello di sistema, infine, vari e utili spunti teorici potrebbero provenire dall'osservazione dell'organizzazione all'interno del mondo animale e dalla biologia, in generale. Non è un caso che la distribuzione dell'intelligenza negli insetti sociali e la comunicazione all'interno delle loro forme di organizzazione siano state la base per la dottrina dello *swarming* o per l'applicazione di tale dottrina ai sistemi automatizzati, e non solo sul campo di battaglia. Si tenga presente che il ruolo di traino delle *hard sciences* nei confronti delle scienze sociali si rivela determinante nel settore dell'industria degli armamenti (basta pensare agli effetti della scoperta della scissione dell'atomo) e potrebbe esserlo altrettanto a livello teorico. Inoltre, la rilevanza anche a livello epistemologico, come si è rilevato nel corso del lavoro per quanto riguarda la teoria della complessità o in quello delle ricadute della teoria dei sistemi e dell'idea di struttura nel pensiero di Waltz, un nuovo modo di concepire il reale potrebbe avere dei risvolti utili nella modellizzazione e nella comprensione del fenomeno bellico.

Tali indirizzi potrebbero essere investigati in maniera singola o in maniera complementare. Il fenomeno bellico spaziale si mostra in tutta la sua complessità nei suoi effetti sulla conduzione del conflitto e della guerra negli altri ambienti operativi: la ricerca del punto di fuga tra linearità del dispositivo satellitare e complessità del fenomeno bellico condotto dall'uomo rispecchia l'istinto umano primario di dominio e di comprensione del reale, fino a quel punto Omega di comprensione e addestramento all'imprevedibile, di evasione dall'entropia.



## BIBLIOGRAFIA

- Achrekar M. *et al.*, *Calculated and Measured Laser Induced Damage Threshold (LIDT) in Glass Metal Optics*, *Proceedings of SPIE*, 2000, pp. 85-96.
- Adams E., *Fundamentals of Game Desing*, New Riders, Berkley 2010.
- Adams E.S., Masterton-Gibbons M., *Lanchester's attrition models and fights among social animals*, «Behavioral Ecology», XIV (5), pp. 719-723.
- Alberts D.S., *The Unintended Consequences of Information Age Technologies*, CCRP, Washington DC 1996.
- , *Agility, Focus, and Convergence: The Future of Command and Control*, «The International C2 Journal», I (1), 2007, pp. 1-30.
- , *The Agility Advantage. A Survival Guide for Complex Enterprises and Endeavors*, CCRP, Washington DC, settembre 2011.
- Alberts D.S., Gartska J.J., Stein F.P., *Network-Centric Warfare: Developing and Leveraging Information Superiority*, CCRP, Washington DC 2000 (II ed., I ed. 1999).
- Alberts D.S., Hayes R.E., *Command Arrangements for Peace Operations*, CCRP, Washington DC 1995.
- , *Power to the Edge: Command... Control... in the Information Age*, CCRP, Washington DC 2003.
- , *Understanding Command and Control*, CCRP, Washington DC 2006.
- Alberts D.S., Huber R.K., Moffat J., *NATO NEC C2 Maturity Model*, CCRP, Washington DC febbraio 2010.
- Alberts D.S., Tillman M.E., *NEC2 Effectiveness and Agility: Analysis Methodology, Metrics, and Experimental Results*, Joint Framework for Measuring C2 Effectiveness – MORS Workshop, Alexandria, 23-26 giugno 2012.
- Alberts D.S. *et al.*, *Understanding Information Age Warfare*, CCRP, Washington DC, agosto 2001.
- Allard K.C., *Somalia Operations: Lessons Learned*, Institute for National Strategic Studies, CCRP, Washington DC 1995.
- Aron R., *Clausewitz: Philosopher of War*, Routledge and Kegan Paul, Londra 1983.
- , *Paix et Guerre entre les nations*, Calmann-Lévy, Paris 2008 (I ed. 1962).
- Arquilla J., Ronfeldt D., *Information Power and Grand Strategy: In Athena's Camp*, in J.D.S. Schwartzstein (a cura di), *The Information Revolution and National Security*, The Center for Strategic and International Studies, Washington DC 1996.

- , *Looking Ahead: Preparing For Information-Age Conflict*, in J. Arquilla, D. Ronfeldt (a cura di), *In Athena's Camp: Preparing for Conflict in the Information Age*, RAND Corporation, Santa Monica 1997, pp. 442–446.
- , *Swarming & The Future of Conflict*, RAND Corporation, Santa Monica 2000.
- Asimov I., *Io, Robot*, trad. it. di R. Rambelli, Bompiani, Milano 1963.
- Axelrod R., *The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Cooperation*, Princeton University Press, Princeton 1997.
- Axelrod R., Cohen M.D., *Harnessing Complexity: Organizational Implications of a Scientific Frontier*, Free Press, New York 1999.
- Axelrod R., Tesfatsion L., *A Guide for Newcomers to Agent-Based Modelling in Social Sciences*, giugno 2005.
- Baeten V., Vermeulen P., Fernandez Pierna J.A., Dardenne P., *From targeted to untargeted detection of contaminants and foreign bodies in food and feed using NIR spectroscopy*, «New Food magazine», giugno 2014, pp. 18–23.
- Bamberger R.J. Jr., Watson D.P., Scheidt D.H., Moore K.L., *Flight Demonstrations of Unmanned Aerial Vehicle Swarming Concepts*, «Johns Hopkins APL Technical Digest», XXVII (1), 2006.
- Bar-Yam Y., *Complexity of Military Conflict: Multiscale Complex Analysis of Littoral Warfare*, New England Complex Systems Institute, 2003.
- Basilus Magnus, *The Letters*, a cura di R.J. Deferrari, Harvard University Press, Cambridge 1961 (III ed.).
- Baucom D.R., *Clausewitz on Space War: An Essay on the Strategic Aspects of Military Operations in Space*, Biblioscholar, 2012.
- Beckerman L.O., *The Non-Linear Dynamics of War*, Science Application International Corporation, Springer Verlag 1999.
- Bell W.S., *Commercial Eyes in Space: Implications for U.S. Military Operations in 2030*, Blue Horizon Paper, Center for Strategy and Technology, Air War College, marzo 2008.
- Benford J., Swegle J.A., Schamiloglou E., *High Power Microwaves, Plasma Physics*, CRC Press, Boca Raton 2007 (II ed.).
- Benkirane R., *La teoria della complessità*, Bollati Boringhieri, Torino 2007.
- Beyerchen A.D., *Clausewitz, Nonlinearity and the Unpredictable of War*, «International Security», XVII (3), inverno 1992, pp. 59–90.
- Bick C., Kolodziejski C., Timme M., *Controlling chaos faster*, «Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science», XXIV, settembre 2014, pp. 1–13.
- Biddle S., Friedman J.A., *The 2006 Lebanon Campaign and the Future of Warfare: Implications for Army and Defense Policy*, U.S. Army War College, Strategic Studies Institute, Carlisle 2008.
- Bischi G.I., *Modelli Dinamici per le Scienze Sociali*, in *Complessità e Riduzionismo*, a cura di V. Fano, E. Giannetto, G. Giannini, P. Graziani, Isonomia-Epistemologica, Urbino 2012.
- Bjorklund R.C., *Dollars and Sense of Command and Control*, National Defense University Press, Washington DC 1995.

- Blake D., *Military Strategic Use of Outer Space*, in H. Nasu, R. McLaughlin (a cura di), *New Technologies and the Law of Armed Conflicts*, TMC Asser Press, L'Aia 2014, cap. 7, pp. 98-114.
- Bobbio N., Matteucci N., Pasquino G., *Dizionario di Politica*, DeAgostini, Novara 2014.
- Bodie B., *Strategy in the Missile Age*, Princeton University Press, Princeton 1959.
- Bohemian Interactive Simulations, *Virtual Battlespace 3 (VBS3). Technical Overview*, 6 agosto 2014.
- Bond M.S., *Hybrid War: A New Paradigm for Stability Operations in Failing States*, USAWC Strategy Research Project, Carlisle, US Army War College, 30 marzo 2007.
- Borensztajn G., Trehan V., *Luc Steels, the Talking Heads Experiment and Cognitive Philosophy. A Tutorial Accompanying the presentation in Current Issue, Part II – The Talking Heads Experiment*, UvA, aprile 2006.
- Borgato M.T., Pepe L., *Lagrange. Appunti per una biografia scientifica*, La Rosa, Torino 1990.
- Borrini F., *La Componente Spaziale nella Difesa*, Rubbettino, Soveria Mannelli 2006.
- Borthomieu Y., *Satellite Lithium Ion-Batteries*, in G. Pistoia (a cura di), *Lithium-Ion Batteries: Advances and Applications*, Elsevier, Amsterdam 2014, cap. 14, pp. 311-344.
- Boschi G.I., *Modelli Dinamici per le Scienze Sociali*, in *Complessità e Riduzionismo*, a cura di V. Fano, E. Giannetto, G. Giannini, P. Graziani, Isonomia-Epistemologica, Urbino 2012.
- Botti F., *Dalla strategia aerea alla strategia spaziale*, «Informazioni della Difesa», IV, 2000, pp. 38-48.
- , *La guerra spaziale. Caratteri e limiti*, «Informazioni della Difesa», V, 2000, pp. 42-49.
- , *Guerra e Strategia dello Spazio*, «Informazioni della Difesa», II, 2001, pp. 36-49.
- Bousquet A., *The Scientific Way of Warfare. Order and Chaos on the Battlefields of Modernity*, Columbia University Press, New York 2009.
- Bowie C.J., Frostic F.L., Lewis K.N., Lund J., Ochmanek D., Propper P., *The New Calculus: Analyzing Air Power's Changing Role in Joint Theatre Campaign*, The Rand Corporation, Santa Monica 2003.
- Boyd J.R., *Organic Design for Command and Control*, presentazione maggio 1987.
- , *The Essence of Winning and Losing*, presentazione gennaio 1996.
- Bull H., *The Anarchical Society. A Study of Order in World Politics*, Columbia University Press, New York 2002 (I ed. 1977).
- Buzan B., *America in Space: The International Relations of Star Trek and Battlestar Galactica*, «Millennium – Journal of International Studies», 39, luglio 2010.
- Buzan B., Waever O., de Wilde J., *Security: A New Framework for Analysis*, Lynne Rienner Publishers, Boulder 1998.
- Campen A.D., *Swarming Attacks Challenge Western Way of War*, AFCEA, aprile 2001.

- Capderou M., *Satellites: Orbit and Missions*, Springer-Verlag, edizione Pap/Cdr, New York 2005.
- Carter A.B., *Satellites and Anti-Satellites: The Limits of the Possible*, «International Security», X, primavera 1986, pp. 46-98.
- Cebrowski A.K., Gartska J.J., *Network-Centric Warfare: Its Origins and Future*, *Proceeding*, US Naval Institute, gennaio 1998, in A. Bousquet, *The Scientific Way of Warfare. Order and Chaos on the Battlefields of Modernity*, Columbia University Press, New York 2009.
- Cerutti F., *Global Challenges for Leviathan: A Political Philosophy of Nuclear Weapons and Global Warming*, Rowman&Littlefield, Lanham 2007.
- Cervino M., Corradini S., Daviolo S., *Is the 'peaceful use' of outer space being ruled out?*, «Space Policy», XIX (4), 2003, pp. 231-237.
- Chapman B., *Space Warfare and Defense. A Historical Encyclopedia and Research Guide*, ABC Clío, Santa Barbara 2008.
- Chun C.K.S., *Shooting Down a "Star" Program 437, the US Nuclear ASAT System and Present-Day Copycat Killers*, Cadre paper n. 6, Maxwell AFB, Air University Press, aprile 2000.
- CIA, *Intelligence Officer's Handbook*, Washington DC, gennaio 2010.
- Clancy T., *Special Forces. A Guided Tour of US Army Special Forces*, The Berkley Publishing Book, New York 2001.
- Clark R.M., *Intelligence Analysis: A Target-Centric Approach*, CQ Press, Washington DC 2004.
- Clarke A.C., *Extra-Terrestrial Relays – Can Rocket Stations Give Worldwide Radio Coverage?*, «Wireless World», ottobre 1945, pp. 305-308.
- Clausewitz K. von, *Vom Kriege*, Dümmlers Verlag, Berlin 1832 (trad. it. *Della Guerra*, trad. di A. Bollati, E. Carnevari, Mondadori, Mondadori 1997 [I ed. 1970]).
- Cochetti R., *The Mobile Satellite Communications Handbook*, Wiley-Blackwell, Hoboken, novembre 2014 (II ed.).
- Cohen E.A., *The mystique of US air power*, «Foreign Affairs», gennaio-febbraio 1994, pp. 109-124.
- Coker C., *Warrior Geeks. How 21<sup>st</sup> Century Technology is Changing the Way We Fight and Think About War*, Columbia University Press, New York 2013.
- Cole D.M., Cox D.W., *The Challenge of the Planetoids*, Chilton Press, Philadelphia 1964.
- Collins J.M., *Military Geography for Professionals and the Public*, National Defense University Press, Washington DC 1998.
- , *U.S. Military Spacepower: Conceptual Underpinning and Practices*, in C.D. Lutes, P.L. Hays (a cura di), *Toward a Theory of Spacepower. Selected Essay*, National Defense University Press, Washington DC 2011, cap. 18, pp. 352-372.
- Constant J., *Fundamentals of Strategic Weapons: Offense and Defense Systems*, Martinus Nijhoff, L'Aia 1981.
- Corbett J.S., *Some Principles of Maritime Strategy*, a cura di E.J. Grove, Naval Institute Press, Annapolis 1988.

- Cordsman A., *Preliminary "Lessons" of the Israeli-Hezbollah War*, Center for Strategic and International Studies, Washington, DC 2006.
- Crevelde M. (van), *Command in War*, Harvard University Press, Cambridge 2003.
- Curien H., *La conquête de l'espace*, in Ramsès 2000. *L'entrée dans le XXIe siècle*, Dunod – Institut français des relations internationales, Parigi 1999.
- De Bernardis G., *Intervento Introduttivo durante l'Air Power Congress 2010*, Firenze, 11-12 maggio 2010.
- De Blois B.M., *Space Sanctuary: A Viable National Strategy*, «Airpower Journal», XII (4), 1998, pp. 41-57.
- De Blois B.M. et al., *Space Weapon: Crossing the US Rubicon*, «International Security», XXIX, 2004, pp. 1-34.
- De Martino A., *Introduction to Modern EW Systems*, Artech House, Boston 2012.
- Deakin R.S., *Battlespace Technologies: Network-Enabled Information Dominance*, Artech House, Norwood 2010.
- Deneubourg J.-L., *L'intelligence collective des insectes*, «Le temps stratégique», 65, Ginevra, settembre 1995.
- , *Emergenza e insetti sociali*, in R. Benkirane, *La teoria della complessità*, Bollati Boringhieri, Torino 2007.
- Deptula D.A., *A New Era for Command and Control of Aerospace Operations*, «Air & Space Journal», luglio-agosto 2014, pp. 5-16.
- Deslippe R., *Social Parasitism in Ants*, «Nature Education Knowledge», III (10), p. 27.
- Dizionario di Informatica*, Milano, Mondadori, 2006.
- Dolman E.C., Cooper H.F. Jr., *Increasing the Military Uses of Space*, in C.D. Lutes, P.L. Hays (a cura di), *Toward a Theory of Spacepower. Selected Essay*, National Defense University Press, Washington DC 2011, cap. 19, pp. 373-390.
- Dorigo M., Stützle T., *Ant Colony Optimization*, MIT Press, Cambridge 2004.
- Douhet G., *Il dominio dell'aria e altri scritti*, a cura di L. Bozzo, Aeronautica militare, Ufficio storico, Roma 2002 (I ed. 1932).
- Drazan L., Vrana R., *Virtual Cathode Oscillator for Repeated Generation HPM*, «Advances in MT», II, 2007, pp. 103-120.
- Dunn R.J. III, *Operational Implications of Laser Weapons*, *Analysis Center Paper*, Northrop Grumman, settembre 2005.
- Durlach N.I., Mavor A.S. Mavor (a cura di), *Committee on Virtual Reality Research and Development*, National Research Council, Washington DC 1994.
- Easton D., *A Systems Analysis of Political Life*, Wiley, New York 1965.
- Edwards S.J.A., *Swarming on the Battlefield: Past, Present and Future*, RAND Publications, Washington DC 2000.
- , *Swarming and the Future of Conflict*, RAND Corporation, Santa Monica 2005.
- Elzinga G., *Communications Interoperability. Down to the Desk Level!?*, Mons, Belgio, NATO H1 C3 STAFF/CINNB, AFCEA Europe, 16 giugno 2010.
- EURAC, *Air Power Paper. An European Perspective on Air Power*, Parigi 2001.

- Fadok D.S., *John Boyd and John Warden: Airpower's Quest for Strategic Paralysis*, «Joint Force Quarterly», XXXV, ottobre 2004, pp. 10-17.
- Falcucci G., *I microsattelliti: potenzialità e possibili impieghi operativi per la Difesa*, «Aeronautica», XI, 2010, pp. 8-11.
- Fano V., Giannetto E., Giannini G., Graziani P. (a cura di), *Complessità e Riduzionismo*, Isonomia-Epistemologica, Urbino 2012.
- Feldan P.M., *An Overview and Comparison of Demand Assignment Multiple Access (DAMA) Concepts for Satellite Communications Networks*, RAND Corporation, Santa Monica 1996.
- Fergusson N., *Civilization: The West and the Rest*, Penguin Press, Londra 2011.
- Ferri F.M., *Corso di tecnologia, disegno e progettazione elettronica 1*, Hoepli, Milano 2004.
- Finocchio P., *Network Centric Operations: The Role of Satellite Communications*, in E. Re, M. Ruggeri, *Satellite Communications and Navigation Systems*, Springer, New York 2008, cap. 1, pp. 3-18.
- Fleming B.P., *The Hybrid Threat Concept: Contemporary War, Military Planning and the Advent of Unrestricted Operational Art*, Fort Leavenworth, School of Advanced Military Studies United States Army Command and General Staff College, 2011.
- Ford Morie J., Williams J., Dozois A., Luigi D.-P., *The Fidelity of Feel: Emotional Affordance in Virtual Environments*, U.S. Army Research, Development, and Engineering Command (RDECOM), 2005.
- Forden G., *Appendix B: Anti-satellite Weapons*, in *Ensuring America's Space Security*, report della Federation of American Scientists (FAS) sugli armamenti spaziali, Washington DC 2004.
- Foucault M., *Microfisica del potere. Interventi politici*, a cura di A. Fontana e P. Pasquino, Einaudi, Torino 1977 (II ed.).
- Franks N.R., *Army Ants: A Collective Intelligence*, «American Scientist», LXXVII, marzo-aprile 1989, pp. 139-145.
- Franks N.R., Fletcher C.R., *Spatial Patterns in Army Ant Foraging and Migration: Eciton burchellii on Barro Colorado Island, Panama*, «Behavioral Ecology and Sociobiology», XII, 1983, pp. 261-270.
- Franks N.R., Gomez N., Goss S., Deneubourg J.-L., *The blind leading the blind in army ant raid patterns: testing a model of self-organization (Hymenoptera: Formicidae)*, «Journal of Social Insect», IV (5), settembre 1991, pp. 583-607.
- Friedman G., *The Next 100 Years. A Forecast for the 21st Century*, Doubleday, New York 2009.
- Fukushima Y., *Debates over the Military Value of Outer Space in the Past, Present and the Future: Drawing on Space Power Theory in the U.S.*, «NIDS Security Studies», XV (2), febbraio 2013.
- Fukuyama F., *The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Collaboration; System Effects: Complexity in Political and Social Life*, Council on Foreign Relations, marzo-aprile 1998.
- Futron Corporation, *U.S. Government Market Opportunity for Commercial Satellite Operators: For Today or Here to Stay?*, White Paper, 29 aprile 2003.
- Gadda C.E., *L'Egoista*, in *I viaggi e la morte*, Garzanti, Milano 2001.

- Gallegos F., *After the Gulf War: Balancing Spacepower's Development*, Maxwell AFB, School of Advanced Airpower Studies, 1995.
- Gandolfi A., *Formicai, imperi, cervelli. Introduzione alla scienza della complessità*, Bollati Boringhieri, Torino 1999.
- Gang L., Hong-Bin S., Li L. Chu Z., mao S.-J., Wang Y., *Laser-induced damages to charge coupled device detector using a high-repetition-rate and high-peak-power laser*, «Optics & Laser Technology», aprile 2013, pp. 221-227.
- Gansler J.S., Lucyshyn W., *Commercial-off-the-Shelf (COTS): Doing It Right*, Center for Public Policy and Private Enterprise, Università del Maryland, settembre 2008.
- Ganyard S., *Strategic Air Power Didn't Work*, US Naval Institute Proceedings, Annapolis 1995.
- GAO, *Defense Acquisition Issues to be Considered for Army's Modernization of Combat Systems*, United States Government Accountability Office, Washington DC 2009.
- Gell-Mann M., *Let's Call it Plectics*, «Complexity Journal», I (5), 1995-1996.
- , *Il quark e il giaguaro. Avventure nel semplice e nel complesso*, Bollati Boringhieri, Torino 1996.
- Gilbert N., Troitzsch K.G., *Simulation for the Social Scientist*, Mc-Graw Hill, Open University Press, Maidenhead, febbraio 2005 (II ed.).
- Gonzalez D., Harting S., *Designing Unmanned Systems with Greater Autonomy Using a Federated, Partially Open Systems Architecture Approach*, RAND Corporation, Santa Monica 2014.
- Gopaldaswamy B., Kampani G., *Piggybacking Anti-Satellite Technologies on Ballistic Missile Defense: India's Hedge and Demonstrate Approach*, Carnegie Endowment for International Peace, 21 aprile 2011.
- Gori U., *Lezioni di Relazioni Internazionali*, Cedam, Padova 2004 (II ed.).
- Government Business Council, Rockwell Collins, *Going Virtual to Prepare for a New Era of Defense*, 29 gennaio 2015, Washington DC.
- Gps Joint Program Office, *Navstar GPS Space Segment/Navigation User Interfaces, Interface Specification IS-GPS-200, Revision D IRN200D-001*, El Segundo, 7 marzo 2006.
- Graham M., Zook M., Boulton A., *Augmented Reality in Urban Places: Contested Content and the Duplicity of Code*, *Transaction of the Institute of British Geographers*, maggio 2012, pp. 464-479.
- Gray C.H. (a cura di), *The Cyborg Handbook*, Routledge, Londra 1995.
- Gray C.S., *The Influence of Space Power upon History*, «Comparative Strategy», XV (4), ottobre-dicembre 1996, pp. 293-308.
- , *Strategy for Chaos: Revolutions in Military Affairs and the Evidence of History*, Frank Cass Publisher, Portland 2002.
- Gray C.S., Sheldon J.B., *Space Power and the Revolution in military Affairs*, «Airpower Journal», 1999.
- Grosan C., Abraham A., Ramos V., *Stigmergic Optimization (Studies in Computational Intelligence)*, Springer-Verlag, New York 2006.
- Hables Gray C. (a cura di), *The Cyborg Handbook*, Routledge, Londra 1995.

- Harrison T., *The Future of MILSATCOM*, Center for Strategic and Budgetary Assessment, Washington DC 2013.
- Hays P., *United States Military Space: Into the Twenty-First Century*, INSS Occasional Paper 42, USAF Institute for National Security Studies, 2002.
- Headquarters Department of the Army, *Operations*, Washington DC, febbraio 2008, modificato nel febbraio 2011.
- Hobbes T., *Leviatano*, a cura di R. Santi, Bompiani, Milano 2001.
- Hölldobler B., *Multimodal signals in ant communication*, «Journal of Comparative Physiology», CLXXXIV (2), 1999, pp. 129-141.
- Hölldobler B., Wilson E.O., *The Ants*, Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge 1990.
- , *Il Superorganismo. Bellezza, eleganza e stranezza delle società degli insetti*, Adelphi, Milano 2011.
- Horgan J., *The End of Science: Facing the Limits of Knowledge in the Twilight of the Scientific Age*, Abacus, Londra 2002.
- How J.P. et al., *Increasing autonomy of UAVs*, «Robotics & Automation Magazine», IEEE, XVI (2), 2009, pp. 43-51.
- Huntington J., *Improving Sattelite Protection with Nanotechnology*, BiblioGov, Washington DC 2012.
- Hyatt J.L. et al., *Space Power 2010*, Air Command and Staff College, Maxwell AFB 1995.
- Hyten J., Uy R., *Moral and Ethical Decisions Regarding Space Warfare*, «Air & Space Power Journal», 2004.
- Ilachinski A., *Land Warfare and Complexity – Part I: Mathematical Background and Technical Sourcebook*, Center for Naval Analysis, Alexandria, luglio 1996.
- Isakowitz S.J., Hopkins J.P. Jr., Hopkins J.B., *International Reference Guide to Space Launch System*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Reston 1999 (III ed.).
- James G.E., *Chaos Theory: The Essential for Military Applications*, Naval War College, Newport, Center for Naval Warfare Studies, Newport Paper n. 10, ottobre 1996.
- Janis I., *Groupthink: Psychological Studies of Policy Decision and Fiascos*, Houghton Mifflin, Boston 1982 (II ed.).
- Janushkowsky V., *Developing Space Assets*, «Challenge and Response», agosto 1994, pp. 443-446.
- Jean C., *Osservazioni sul potere aereo*, in *Italo Balbo – Aviazione e potere aereo*, Atti del Convegno Internazionale del Centenario della nascita, Roma, 7-8 novembre 1996, Aeronautica Militare, Roma 1998.
- , *Manuale di Studi Strategici*, FrancoAngeli (collana “Centro Studi di Geopolitica Economica – CSGE”), Milano 2004.
- Jensen E., *How to Operationalize C2 Agility*, 17th ICCRTS “Operationalizing C2 Agility”, Fairfax, 19-21 giugno 2012.
- Jervis R., *Perception and Misreption in International Politics*, Princeton University Press, Princeton 1976.

- Johnson R.L., *Lanchester's Square Law in Theory and Practice*, School of Advanced Military Studies, United States Army Command and General Staff College, Fort Leavenworth 1989.
- Johnston R., *Analytical Culture in US Intelligence Community. An Ethnographic Study*, CIA, Center for the Study of Intelligence, Washington DC 2005.
- Jomini B.A.H. de, *Précis de l'Art de la Guerre*, Anselin, Paris 1837.
- Jones S.J., *Fighting Networked Terrorist Groups: Lessons from Israel*, «Studies in Conflict & Terrorism», XXX, 2007, pp. 281-302.
- Jordan L.R., *Hybrid War: Is the U.S. Army Ready for the Face of 21st Century Warfare?*, Fort Leavenworth, U.S. Army Command and General Staff College, 2008.
- Jullien F., *Pensare l'efficacia in Cina e in Occidente*, Laterza, Roma-Bari 2008.
- Kelly K., *Out of Control: The New Biology of Machines*, Reading, Cox and Wyman, 1994.
- Kerr D.M., *Space Weapons Verification*, in B. Jasani (a cura di), *Space Weapons and International Security*, Oxford University Press, Oxford 1987, Paper 12, pp. 209-228.
- Kesling E.C., *On War Without the Fog*, «Military Review», settembre-ottobre 2001, pp. 85-87.
- Kim Se-Young, Myung Noh-Hoon, *An Optimal Antenna Pattern Synthesis for Active Phased Array SAR Based on Particle Swarm Optimization and Adaptive Weighting Factor*, «Progress In Electromagnetics Research C», X, 2009, pp. 129-142.
- King M., Riccio M.J., *Military Satellite Communications: Then and Now*, «Aerospace», dicembre 2013.
- Klein G.A., *Sources of Power: How People Make Decisions*, MIT Press, Cambridge 1998.
- Klein G.A., Salas E., *Linking Expertise and Naturalistic Decision Making*, Mahwah, Lawrence, Erlbaum Associ., 2001.
- Klein J.J., *Space Warfare: Strategy, Principles, and Policy*, Routledge, New York 2006.
- , *The Influence of Technology on Space Strategy*, «Astropolitics: The International Journal of Space Politics & Policy», X (1), 2012, pp. 8-26.
- Koepp M. et al., *Evidence for striatal dopamine release during a video game*, «Nature», CCCXCIII, 21 maggio 1998, pp. 266-268.
- Koto A., Mersch D., Hollia B., Keller L., *Social isolation causes mortality by disrupting energy homeostasis in ants*, «Behavioral Ecology and Sociobiology», LXIX (4), aprile 2015, pp. 583-591.
- Krepon M., Thompson J., *Anti-satellite Weapons, Deterrence and Sino-American Space Relations*, Stimson, Washington DC, settembre 2013.
- Krishnan A., *Killer Robots. Legality and Ethicality of Autonomous Weapons*, MPG Books Ltd, Bodmin, Cronwall 2009.
- Kuhnert F., Garrison A., *Nanosat/Microsat Constellations and Next Generation Unmanned System Strategy*, Advanced Concepts-Rapid Response Space, Advanced Program & Technology Division Aerospace System Sector, Redondo Beach, Northrop Grumman Systems Corporation, 2011.

- Labar K.S., Cabeza R., *Cognitive neuroscience of emotional memory*, «Nature Reviews Neuroscience», VII, gennaio 2006, pp. 54-64.
- Laing R.D., *L'Io diviso. Studio di psichiatria esistenziale*, Einaudi, Torino 1969 (II ed.).
- Lambakis S., *On the Edge of Earth: The Future of American Space Power*, The University of Kentucky Press, Lexington 2001.
- Lambeth B.S., *NATO's Air War for Kosovo: A Strategic and Operational Assessment*, The Rand Corporation, Santa Monica 2001.
- Lanchester F.W., *Aircraft in Warfare*, Apleton, New York 1916.
- , *Mathematics in Warfare*, in J.R. Newman, *The World of Mathematics*, col. 4, Simon and Schuster, New York 1956, pp. 2138-2157.
- Landes D.S., *The Unbound Prometheus: Technological Change and Industrial Development in Western Europe from 1750 to the Present*, Press Syndicate of the University of Cambridge, Cambridge 1969.
- Laplace P.-S., *Théorie Analytique des Probabilités*, Vourcier Imprimeur, Parigi 1814 (II ed.).
- Lara P.B.A., Choren R., *A Message Exchange Protocol in Command and Control System Integration, using the JC3IEDM, 19th International Command and Control Research and Technology Symposium – C2 Agility: Lessons Learned from Research and Operations*, Alexandria, 16-19 giugno 2014.
- Larned R.E., *1994 Air and Space Doctrine Symposium*, Air University Press, Maxwell AFB 1994.
- Lavigne V., Ricard B., *Step-Stare Image Gathering for High-Resolution Targeting*, Defence R&D Canada Valcartier, Val-Bélair, maggio 2005.
- Lawson J.S. Jr., *Naval Tactical C3 Architecture 1985-1995*, «Signal», XXXIII (10), agosto 1979, pp. 71-76.
- , *Command Control as a Process*, Proc. IEEE Conference on Decision and Control, Albuquerque, dicembre 1980, *Naval Electronic Systems Command*, pp. 5-11.
- , *Yagi Antenna Design*, Amer Radio Relay League, Newington 1986.
- Lepinosa J., *The ELICIT Experiment: Eliciting Organizational Effectiveness and Efficiency under Shared Belief*, U.S. Military Academy, Network Science Center, West Point, 2007.
- Levis A., Athans M., *The Quest for a C3 Theory: Dreams and Realities*, Laboratory for Information and Decision Systems Massachusetts Institute of Technology Cambridge, agosto 1987.
- Lorenz K., *Gli otto peccati capitali della nostra civiltà*, Adelphi, Milano 2007.
- Lupton D.E., *On Space Warfare. A Pace Power Doctrine*, Air University Press, Maxwell AFB 1988.
- Luttwak E.N., *Post-Heroic Warfare and Its Implications*, NIDS International Symposium on Security Affairs, ottobre 1999.
- MacArthur D., *Reminiscences*, McGraw-Hill, New York 1964.
- MacDonald B.W., *China, Space Weapons, and U.S. Security*, Council on Foreign Relations, Special Report n. 38, settembre 2008.
- Machiavelli N., *Dell'arte della guerra*, a cura di A. Capata, Newton & Compton, Roma 2005.
- , *Il Principe* (1532), a cura di A. Capata, Newton & Compton, Roma 2005.

- Mahan A.T., *The Influence of Sea Power upon History, 1660-1783*, Hill and Wang, New York 1963.
- Maini A., Agrawal V., *Satellite Technology: Principles and Applications*, John Wiley & Sons Ltd, Chichester 2006.
- Mandelbrot B.B., *The Fractal Geometry of Nature*, W.H. Freedman & Company, New York 1982.
- Mandelbrot B.B., Hudson R.L., *The (Mis) Behaviour of Markets: A Fractal View of Risk, Ruin and Reward*, Profile Books, Londra 2004.
- Maral G., Bousquet M., *Satellite Communications Systems*, Wiley, West Sussex 2002 (IV ed.).
- Marion R., Uhl-Bien M., *Complexity Theory and Al-Qaeda: Examining Complex Leadership*, «Emergence», V (1), gennaio 2003, pp. 54-76.
- Marshall A.W., *Problem of Estimating Military Power*, RAND Corporation, Santa Monica, agosto 1966.
- Marx K., Engels F., *Il Manifesto dei Comunisti e Il Catechismo dei Comunisti*, edizioni del Marquis, Milano 1971.
- Mazzini L., Intelisano A., *L'uso dei microsattelliti nelle operazioni tattiche*, «Aeronautica», VI, 2011, pp. 84-91.
- McNiell S.L., *Proposed Tenets of Space Power. Six Enduring Truths*, «Air & Space Power Journal», 2004, pp. 71-83.
- Mearsheimer J., *La Logica di Potenza*, Università Bocconi editore, Milano 2003 (ed. orig. *Tragedy of Great Power Politics*, Norton, New York 2001).
- Mecozzi A., *L'aviazione diventa inutile?*, «Rivista Aeronautica», I-II-II, 1945.
- Mehlorn T.A., *National Security Research in Plasma Physics and Pulsed Power: Past, Present, and Future*, «IEEE Transactions on Plasma Science», XL (5), maggio 2014, pp. 1088-1117.
- Meilinger P.S., *Air Strategy Targeting for Effect*, «Aerospace Power Journal», XIII (4), 1999, pp. 48-61.
- Meissner D.M., *A Three Degrees of Freedom Test-Bed for Nanosatellite and CubeSat Attitude Dynamics, Determination, and Control*, Monterey, Naval Postgraduate School, 2009.
- Mileschi C., *Gadda filosofo: un precursore filosofo*, «The Edinburgh Journal of Gadda Studies (EJGS)», V, 2007.
- Ministry of Defense, *Air Publication (AP) 3000, British Air and Space Power Doctrine*, 2009.
- Minoli D., *Satellite Systems Engineering in an IPv6 Environment*, Auerbach Publications, CRC Press, Boca Raton 2009.
- MIP, *Overview of the Joint C3 Information Exchange Data Model (JC3IEDM Overview)*, 14 febbraio 2012.
- Mitchell W., *Three C2 Models for Military Agility in 21st Century*, Royal Danish Defense College, Copenhagen, novembre 2012.
- Moffat J., *Complexity and Network-Centric Warfare*, CCRP, Washington DC 2003.
- Mohinder S., *Electronic Warfare*, Defence Scientific Information & Documentation Centre (DESIDOC), Ministry of Defence, Metcalfe House, Delhi 1988.
- Morgan F.E., *Deterrence and First-Strike Capability in Space. A Preliminary Assessment*, RAND Corporation, Santa Monica 2010.

- Morgenthau H., *Politics Among Nations: The Struggle for Power and Peace*, Knopf, New York 1985 (IV ed.).
- Morin E., *Il Metodo. Ordine, Disordine, Organizzazione*, Feltrinelli, Milano 1992 (I ed. 1983).
- , *Introduzione al pensiero complesso*, Sperling & Kupfer, Milano 1993.
- Mueller K.P., *Totem and Taboo: Depolarizing the Space Weaponization Debate*, «Astropolitics», I (1), 2003.
- Mutschler M.M., *Arms Control in Space: Exploring Conditions for Preventive Arms Control*, Palgrave Macmillan, Basingstoke 2013.
- National Security Space Institute, *U.S. Military Space Reference Text 2006*, Colorado Springs, Space Professional School, marzo 2006.
- National Space Society, *Position Paper: US Dependence on Russian Technology*, luglio 2014, in <[http://www.nss.org/legislative/positions/NSS\\_Position\\_Paper\\_Dependence\\_on\\_Russia\\_2014.pdf](http://www.nss.org/legislative/positions/NSS_Position_Paper_Dependence_on_Russia_2014.pdf)> (09/2014).
- NATO, *System Solutions to Defeat Cruise Missiles and Attack UAVs*, RTO-TR-003-V1, marzo 1999.
- NATO, *NATO Modelling and Simulation Master Plan*, NATO M&S Strategic Plan Version 2.0, settembre 2012.
- Neyland D.L., Bannister N.P., *Commercial Satellite Electro-Optic Imagery for Space Based Maritime Domain Awareness*, Office of Naval Research – Global US Navy, Università di Leicester, ottobre 2013.
- Nicolis G., Prigogine I., *Exploring Complexity*, W.H. Freeman, New York 1989.
- Nietzsche F.W., *Così parlò Zarathustra*, Giunti, Firenze 2006.
- Nye J., *The Paradox of American Power. Why the World's only Superpower Can't Go it Alone*, Oxford University Press, Oxford 2002.
- O'Malley M.K., Ambrose R.O., *Haptic feedback applications for Robonaut*, «Industrial Robot: An International Journal», XXX, 2003, pp. 531-542.
- Obama B.H., *National Space Policy of the United States of America*, Washington DC, 28 giugno 2010.
- Oberg J., *Space Power Theory*, U.S. Government Printing Office, Washington DC 1999.
- Office of the Secretary of Defense, *Unmanned Aircraft System Roadmap, 2005-2030*, Washington DC, agosto 2005.
- Office of the Under Secretary for the Personnel and Readiness, *Strategic Plan for the Next Generation of Training for the Department of Defense*, settembre 2010.
- Osinga F., *Science, Strategy and War: The Strategic Theory of John Boyd*, Routledge, Abingdon 2007.
- Ouedeyer P.-Y., *On the impact of robotics in behavioral and cognitive sciences: from insect navigation to human cognitive development*, *IEEE Transactions on Autonomous Mental Development*, dicembre 2009.
- Pair J., Allen B., Dautricourt M., Treskunov A., Liewer M., Graap K., Reger G., Rizzo A., *A Virtual Reality Exposure Therapy Application for Iraq War Post Traumatic Stress Disorder*, *IEEE VR2006 Proceedings*, pp. 64-71.
- Pape R., *Bombing to Win*, Cornell University Press, Ithaca 1996.

- Paret P., *Clasuwitz*, in *Guerra e Strategia nell'età contemporanea*, a cura di P. Paret (ed. it. a cura di N. Lablanca), Marietti, Genova 1992, Parte I, cap. 3, pp. 101-126.
- Pattan B., *Satellite Systems: Principles and Technologies*, Van Nostrand Reinhold, New York 1993.
- Peoples C., *The Securitization of Outer Space: Challenges for Arms Control*, «Contemporary Security Policy», XXXII, 2011, pp. 76-98.
- Perrett B., *Longer Marches*, «Aviation Week», marzo 2010.
- Perri W., Signori D., Boon J., *A Methodology for Measuring the Quality of Information and Its Impact on Shared Awareness*, RAND Corporation, Santa Monica 2004.
- Peter N., *Space Power and Its Implications. The Case of Europe*, «Acta Astronautica», LXVI (3-4), febbraio-marzo 2010, pp. 348-354.
- Piaget J., *Le Structuralisme*, Press Universitaires de France, Parigi 1968.
- , *Antologia di Scritti*, a cura di P. Tampieri, il Mulino, Bologna 1982.
- Pigeau R., McCann C., *Re-conceptualizing Command and Control*, «Canadian Military Journal», III (1), primavera 2002.
- Pitke J., *The military uses of outer space*, in *SIPRI Yearbook 2002 – Armaments, Disarmament and International Security*, Oxford University Press, Oxford 2002, pp. 613-664.
- Podvig P., *History and the Current Status of the Russian Early-Warning System*, «Science and Global Security», X, 2000.
- Poisel R.A., *Modern Communications Jamming Principles and Techniques*, Arthec House, Londra 2011 (II ed.).
- Powell J., Maise G., Rater J., *Maglev Launch: Ultra Low Cost Ultra/High Volume Access to Space for Cargo and Humans*, *Spesif 2010 – Space, Propulsion, and Energy Sciences International Forum*, John Hopkins Applied Physics Laboratory, Laurel, febbraio 2010.
- Pozzo di Borgo M.Y., *L'espace militaire: les satellites d'alerte avancée et de renseignement élec-tromagnétique – Réponse au rapport annuel du Conseil, Rapport présenté au nom de la Commission technique et aérospatiale*, Assemblée Européenne de Sécurité et de Défense, 17 giugno 2010.
- Preston R., Johnson D.J., Edwards S.J.A., Miller M.D., Shipbaugh C., *Space Weapons, Earth Wars*, RAND Corporation, Santa Monica 2002.
- Rizzo A., Ford Morie J., Williams J., Pair J., Bucwalter J.G., *Human Emotional State and its Relevance for Military VR Training*, *The Proceedings of the 11th International Conference on Human Computer Interaction*, 2005.
- Robert D.S. et al., *Testing and evaluation of a wearable augmented reality system for natural outdoor environments*, *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers*, maggio 2013.
- Rochlin G.I., *Trapped in the Net: The Unanticipated Consequences of Computerization*, Princeton University Press, Princeton 1997.
- Rosanelli R., *Le attività spaziali nelle politiche di sicurezza e difesa*, collana Quaderni IAI, edizioni Nuova Cultura, Roma 2011.
- Rourke K.S., *U.S. Counterinsurgency Doctrine: Is it Adequate to Defeat Hezbollah as a Threat Model of Future Insurgencies?*, U.S. Army Command and General Staff College, Fort Leavenworth, KA 2009.

- Rubin U., *The Global Reach of Iran's Ballistic Missiles*, Memorandum n. 86, Institute for National Security Studies, novembre 2006.
- Ruelle D., *Elements of Differentiable Dynamics and Bifurcation Theory*, Academic Press, Saint Louis 1989.
- Rumsfeld D.H., Cambone S.A., *Enduring Issues: The Space Commission 10 Years Later*, «High Frontier», VII (4), agosto 2011, pp. 3-8.
- Sageman M., *Understanding Terror Networks*, University of Pennsylvania Press, Philadelphia 2004.
- Salter R.M. et al., *Utility of a Satellite Vehicle for Reconnaissance*, RAND Corporation, Santa Monica, aprile 1951.
- Santarlaschi E., Martelloni G., Frizzi F., Santini G., Bagnoli F., *Modeling Warfare in Social Animals: A 'Chemical' Approach*, «Plos One», IX (11), novembre 2014.
- Santoro C.M., *Potere aereo, deterrenza e compellenza*, in Italo Balbo – *Aviazione e potere aereo*, Atti del Convegno Internazionale del Centenario della nascita, Roma, 7-8 novembre 1996, Aeronautica Militare, Roma 1998.
- Sawyer K.R., *Multiagent Systems and the Micro-Macro Link in Sociological Theory*, «Sociological Methods & Research», XXXI (3), pp. 325-363.
- Scharre P., *Robotics on the Battlefield Part II: The Coming Swarm*, Center for a New American Security, ottobre 2014.
- Schelling T.C., *The Tragedy of Conflict*, Harvard University Press, Boston 1980.
- Schmitt C., *Terra e Mare. Una riflessione sulla storia del mondo* (trad. it. di G. Gurisatti, Adelphi, Milano 2002).
- Searle J.R., *La mente è un programma?*, «Le Scienze», giugno 1990.
- Seedhouse E., *The New Space Race: China vs. the United States*, Praxis Publishing Ltd, Chichester 2010.
- Seeley T.D., *The Wisdom of the Hive. The Social Physiology of Honey Bees Colonies*, Harvard University Press, Cambridge 1995.
- Segura R., *Standard for Military Satcom Ground Segment*, ESA Ground Segment Technology Workshop, Noordwijk, 5-6 giugno 2008.
- Selected Committee of the United States House of Representatives, *Satellite Launches in PRC: Loral*, U.S. National Security and Military/Commercial Concerns with the People's Republic of China, Washington DC, 3 gennaio 1999.
- Seneca L.A., *Lettere a Lucilio*, testo latino a fronte e versione di B. Giuliano, Zanichelli, Bologna 1966.
- Sengers P., *Schizophrenia and Narrative in Artificial Agents*, «Leonardo», XXXV (4), 2002, pp. 427-451.
- Sheldon J.B., Gray C.S., *Theory Ascendant? Spacepower and the Challenge of Strategic Theory*, in C.D. Lutes, P.L. Hays (a cura di), *Toward a Theory of Spacepower. Selected Essay*, National Defense University Press, Washington DC 2011, cap. 15, pp. 300-313.
- de Seversky A., *Victory Through Air Power*, Simon and Schuster, New York 1942.
- Singer P.W., *Wired War. The Robotics Revolution and Conflict in the 21st Century*, Penguin Press, Londra 2009.

- Soemers D., *Tactical Planning Using MCTS in the Game of StarCraft*, giugno 2014.
- Specht R.D., *War Games*, RAND Corporation, Santa Monica 1957.
- Spencer T.A., Walker R.A., *A Case Study of GPS Susceptibility to Multipath and Spoofing Interference*, in D. Mee (a cura di), *Proceedings of the 10th Australian Int'l Aerospace Congress*, 29 luglio-1 agosto 2003, Brisbane, Queensland.
- Spires D., *Beyond Horizons: A Half Century of Air Force Space Leadership*, Air Force Space Command, USAF, Peterson AFB 1997.
- Staff Study Permanent Select Committee on Intelligence, *IC21: The Intelligence Community in the 21st Century*, House of Representatives, Washington 1996.
- Stěfek A., *Is the Insect the Future of Robots?*, in *Robot on the Battlefield*, a cura di R. Doaré, D. Danet, J.-P. Hanon, G. de Boissboissel, Combat Studies Institute Press, Fort Leavenworth, gennaio 2014, cap. 19, pp. 217-232.
- Stine G.H., *Confrontation in Space*, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs 1981.
- Sullivan B.R., *Usi e abusi dei sistemi bellici spaziali*, in *Italo Balbo – Aviazione e potere aereo, Atti del Convegno Internazionale del Centenario della nascita, Roma, 7-8 Novembre 1996*, ed. a cura dell'Aeronautica Militare, Roma 1998.
- Summers T.A., *How is U.S. Space Power Jeopardized by an Adversary's Exploitation, Technological Developments, Employment and Engagement of Laser Anti-Satellite Weapons?*, Maxwell Air Force Base, aprile 2000.
- Sun Tzu, *L'arte della guerra*, a cura di A. Andreini, M. Biond, Einaudi, Torino 2001.
- Teilhard de Chardin P., *Le phénomène humain*, Editions du Seuil, Parigi 1955.
- Templeman J., *Enhancing Realism in Desktop Interfaces for Dismounted Infantry Simulation*, US Naval Research Laboratory, 18 febbraio 2014.
- Terna P., *La simulazione come strumento d'indagine per l'economia*, «Sistemi Intelligenti», 2, pp. 347-376.
- Traballesi A., Cardinali N., *Sviluppo tecnologico ed evoluzione della dottrina d'impiego del potere aerospaziale*, CeMiSS, Roma 2004.
- Tristancho J., Gutierrez J., *Implementation of a femto-satellite and a mini-launcher*, Universitat Politècnica de Catalunya, 2010.
- Trobia A., *La ricerca sociale quali-quantitativa*, FrancoAngeli, Milano 2005.
- Tucidide, *La Guerra del Peloponneso*, a cura di E. Savino, Garzanti, Milano 2003.
- Turing A.M., *Computing machinery and intelligence*, «Mind», 59, 1950, pp. 433-460.
- U.S. Department of Defense, *Defense Science Board (DSB) Task Force on Directed Energy Weapons*, Washington DC, novembre 2007.
- , *Joint Vision 2020*, Washington DC, 15 gennaio 2009.
- , *Dictionary of Military and Associated Terms*, Wasginton DC, 8 novembre 2010.
- , *Modeling and Simulation (M&S) Glossary*, Washington DC, ottobre 2011.
- Vallone G., Bacco D., Dequal D., Gaiarin S., Luceri V., Bianco G., Villoresi P., *Experimental Satellite Quantum Communications*, Univeristà di Padova, ASI, e-GEOS, giugno 2014.
- Vassiliou M.S., *The Evolution Towards Decentralized C2, 15th International Command and Control Research and Technology Symposium (ICCRTS)*, Santa Monica, 22-24 giugno 2010.

- Vassiliou M.S., Alberts D.S., *Megatrends Reshaping C2 and their Implications for Science and Technology Priorities, 17th ICCRTS Conference 'Operationalizing C2 Agility'*, Fairfax, 19-21 giugno 2012.
- Vegetius, *Epitoma de rei militaris*, Lipsia 1869.
- Ventre D., *Information Warfare*, Wiley-ISTE Ltd., Hoboken 2009.
- Visco E.P., *More Than You Ever Wanted to Know About Clausewitzian Friction, The Cornawallis Group VIII: Analysis for Governance and Stability*, agosto 2003, pp. 311-327.
- , *Murphy's Law is Alive and Well: Clausewitzian Friction on the Modern Battlefield, 29th ISMOR Symposium*, Cranfield, agosto 2012.
- Volos C., Doukas N., kyprianidis I.M., Stouboulos I.N., Kostis T.G., *Chaotic Autonomous Mobile Robot for Military Missions, 17th International Conference on Communications*, Isola di Rodi, 16-19 luglio 2013.
- Waldrop M.M., *Complexity: The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos*, Viking, Londra 1992.
- Walker D., *Presentation to the House Armed Services Committee, Subcommittee on Intelligence, Emerging Threats and Capabilities, Fiscal Year 2015 Air Force Science and Technology*, marzo 2014.
- Waltz K., *Theory of International Politics*, McGraw-Hill, New York 1979.
- , *Man, the State, and War. A Theoretical Analysis*, Columbia University Press, New York 2001 (I ed. 1959).
- Wang Qi, Wang Bo, Wu Bin, *Study on Threats to Security of Space TT&C Systems*, in *Proceedings of the 26th Conference of Spacecraft TT&C Technology in China: Shared and Flexible TT&C (Tracking, Telemetry and Command) Systems, Lecture Notes in Electrical Engineering, CLXXXVII*, 2013, pp. 67-73.
- Warden J.A. III, *The Enemy as a System*, «Airpower Journal», 1995, pp. 41-55.
- Wark W.K., *Introduction: 'Learning to Live With Intelligence'*, in W.K. Wark (a cura di), *Twenty-First Century Intelligence*, Routledge, New York 2005.
- Weick K.E., *Organizzare. La Psicologia Sociale dei Processi Organizzativi*, a cura di B. Bernardi e M. Warglien, Isedi, Torino 1993.
- , *The Collapse of Sensemaking in Organizations: The Mann Gulch Disaster*, «Administrative Science Quarterly», Ithaca, dicembre 1993.
- Weiss G. (a cura di), *Multiagent Systems. A Modern Approach to Distributed Modern Approach to Artificial Intelligence*, MIT Press, Cambridge 1999.
- Williams M.C., *Words, Images, Enemies, Securitization and International Politics*, «International Studies Quarterly», 47, 2003.
- Wilson C., *High Altitude Electromagnetic Pulse (HEMP) and High Power Microwave (HPM) Devices: Threat Assessments, Foreign Affairs, Defense, and Trade Division Congressional Research Service*, The Library of Congress, agosto 2004.
- Winne M., *21st Century Warfare: The Combat Cloud, AFA – Air & Space Conference and Technology Exposition*, Washington DC, 15 settembre 2014.
- Withington T., *Future Force. Changing how the USAF Goes to War*, «Combat Aircraft», VI (3), novembre 2004, pp. 62-67.
- Wohl J., *Force Management Decision Requirements for Air Force Tactical Command and Control*, «IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics», SMC-1 1 (9), settembre 1981, pp. 618-639.

- Woolridge M., Jennings N.R., *Intelligent Agents: Theory and Practice*, «The Knowledge Engineering Review», X (2), pp. 115-152.
- Wright D., Grego L., Gronlund L., *The Physics of Space Security*, American Academy of Arts and Science, Cambridge 2005.
- Articoli e comunicati stampa*
- Airborne Laser*, «Aviation Week», 21 dicembre 2011, pp. 1-2.
- Alba D., *China Unveils Secret Quantum Communications Experiment*, «IEEE Spectrum», 13 giugno 2013.
- Al-Rodhan N., *Quantum Computing and Global Security*, «Global Policy Journal», 20 febbraio 2015.
- Anthes E., *Marching one by one. What happens to lonely ant?*, «The New Yorker», 3 marzo 2015.
- Aron J., *First quantum transmission sent through space*, «NewScientist», 26 giugno 2014.
- Barrie A., *Army battles with brawn and beer bellies*, «Fox News», 22 maggio 2014.
- Barrie D., *China's hypersonic test – behind the headlines*, «IISS», 30 gennaio 2014, in <<http://www.iiss.org/en/militarybalanceblog/blogsections/2014-3bea/january-1138/barrie-china-d0a8>> (10/2016).
- Bartels H.-P., *Drones simply aren't the height of technology*, «IP Journal», 1 agosto 2014.
- Boland R., *It Might Be Virtual, But It Is Not a Game*, Signal, 1 agosto 2014, <<http://www.afcea.org/content/?q=it-might-be-virtual-it-not-game>> (12/2016)
- China joins EU's satellite network*, «BBC News», 19 settembre 2003.
- China tests hypersonic missile vehicle*, «The Guardian», 16 gennaio 2014, in <<http://www.theguardian.com/science/2014/jan/16/china-tests-hypersonic-missile-vehicle>> (10/2016).
- China to launch its first anti-jamming satellite next year*, «People.cn», 4 marzo 2004.
- Chuck Spinney: US Broken OODA Loops on Ukraine*, «Public Intelligence Blog», 22 aprile 2014.
- Cuadra A., Whitlock C., *How drones are controlled*, «The Washington Post», 20 giugno 2014.
- Davis J., *If We Run Out of Batteries, This War is Screwed*, «Wired», 28 maggio 2003.
- De Selding P.B., *Deadline Fast Approaching for NATO To Replace Satcom Capacity*, «SpaceNews», 9 dicembre 2011.
- Dettmer J., *Digital jihad: ISIS, Al Qaeda seek a cyber caliphate to launch attacks on US*, «Fox News», 14 settembre 2014.
- Discovery of Quantum Vibrations in 'Microtubules' Inside Brain Neurons Corroborates Controversial 20-Year-Old Theory of Consciousness*, Elsevier, comunicato stampa del 16 gennaio 2014.
- Donnelly J., *Laser of 30 Watts Blinded Satellite 300 Miles High*, «Defense Week», 8 dicembre 1987.
- Dowell B., *BBC World Service to sign funding deal with US state department*, «The Guardian», 20 marzo 2011.
- Dunckley V.L., M.D., *Computer, Video Games & Psychosis: Cause for Concern. Can screen-time trigger psychotic symptoms?*, «Mental Wealth», 30 giugno 2012.

- Fish or the Future*, «Space Daily», 28 gennaio 1997.
- Flaherty M.P., Samenow J., Rein L., *Chinese hack U.S. weather systems, satellite network*, «The Washington Post», 12 novembre 2014.
- Florig H.K., *The future battlefield: a blast of gigawatts? [microwave-based weapons]*, «IEEE Spectrum», XXV, marzo 1998, pp. 50-54.
- Fox W., *Switch On the Digitised Battlespace*, «Armada International», 1 ottobre 2011.
- Galileo Joint Undertaking, *Israel joins Galileo. The Israel Entity MATIMOP, on the way to becoming a Member of the Galileo Joint Undertaking*, Comunicato Stampa, 18 maggio 2005.
- Gertz B., *Inside the Ring: North Korean EMP*, «The Washington Times», 18 luglio 2012.
- Haeri S., *Cuba blows the whistle on Iranian jamming*, «ASIA Times», 22 agosto 2003.
- Hodge N., *Pentagon Loses War to Zap Airborne Laser From Budget*, «The Wall Street Journal», 11 febbraio 2011.
- Hsu J., *U.S. Navy Tests Robot Boat Swarm to Overwhelm Enemies*, «IEEE Spectrum», 5 ottobre 2014.
- Il Ministero della Difesa e SELEX Sistemi Integrati hanno firmato il contratto Forza NEC*, Ministero della Difesa, comunicato stampa del 9 giugno 2010.
- Insinna V., *Army Releases New Video Game Training*, «National Defense», giugno 2014.
- Kleiman M., McNeil S., *Red lines in outer space*, «The Space Review», 5 marzo 2012.
- Kovacs E., *China Wants to Take Out US Satellites with Microwave Pulses*, «Softpedia», 1 maggio 2012.
- Laird R., *The Next Phase of Air Power: Crafting and Enabling the Aerospace Combat Cloud*, intervista con D.A. Deptula, *Second Line of Defense – SLD*, 23 febbraio 2014.
- Lamothe D., *Pentagon agency wants drones to hunt in packs, like wolves*, «The Washington Post», 23 gennaio 2015.
- Marks P., *Wanna jam it?*, «Newscientist», 22 aprile 2000.
- McCoy T., *The battle for Kobane and the Islamic State's 'swarm' war strategy*, «The Washington Post», 8 ottobre 2014.
- Neiger C., *Ex-Nasa engineer: How cars could think like spaceships*, «BBC.com», 25 febbraio 2015.
- Parsons D., *Augmented Reality Can Better Inform Troops*, «National Defense Magazine», settembre 2014, p. 12.
- Scharre P., *Commentary: Swarming the Battlefield*, «DefenseNews», 5 gennaio 2015.
- Scott W.B., *Fighters as Spacelift*, «Aviation Week and Space Technology», CLVIII (14), 7 aprile 2003, p. 72.
- Selding P.B. de, *Deadline Fast Approaching for NATO To Replace Satcom Capacity*, «SpaceNews», 9 dicembre 2011.
- Sintern W., *Training NATO for an uncertain future: An interview with Major General Erhard Bühler*, McKinsey on Government, inverno 2014-2015, pp. 25-29.

- Spinney C., *Asleep at the Switch in Versailles... or... Why Nonlinear Realities Overwhelm Linear Visions... or... Why did Slobo Cave?*, *Defense and the National Interest*, 6 settembre 1999.
- Small Is Beautiful: US Military Explores Use of Microsatellites*, «Defense Industry Daily», 30 giugno 2011.
- The Anti-Terrorist Operation in Ukraine: Summary for August 19, 2014*, «Burkonews.info», 21 agosto 2014.
- The Russian Military Forum: Russia's Hybrid War Campaign: Implications for Ukraine and Beyond*, Center for Strategic and International Studies, 10 marzo 2015.
- Thuraya satellite telecom 'jammed by Libya'*, The Gulf Base, 25 febbraio 2011.
- Ukraine to take part in NATO crisis management exercise*, «Ukrinform», 4 marzo 2015.
- Weiss L.G., *Autonomous Robots in the Fog of War. Networks of autonomous robots will someday transform warfare, but significant hurdles remain*, «IEEE Spectrum», 27 luglio 2011.
- Williams M., *Galaxy IV Failure Reliance on Satellites*, «Government Computer News», 20 maggio 1998.
- Young C., *Military Intelligence Redefined: Big Data in the Battlefield*, «Forbes», 12 marzo 2012.



## SITOGRAFIA\*

Academia.edu, <<http://www.academia.edu>>  
Aeronautica Militare, <<http://www.aeronautica.difesa.it>>  
Aerospace Research Central, <<http://arc.aaa.org>>  
AFCEA, <<http://www.afcea.org>>  
AGI.com, <<http://www.agi.com>>  
AIAD, <<http://www.aiad.it>>  
Air Force Space Command, <<http://www.afsoc.af.mil>>  
Air Power Australia, <<http://www.ausairpower.com>>  
Airbus Defence & Space, <<http://www.space-airbusds.com>>  
Airforce Technology, <<http://www.airforce-technology.com>>  
American Physical Society, <<http://www.aps.org>>  
ARA, <<https://www.ara.com/>>  
Archive, <<http://archive.org>>  
Ariane Space, <<http://www.arianespace.com/>>  
Arms Control, <<http://www.armscontrol.org>>  
ASI, <<http://www.asi.it>>  
BBC, <<http://www.bbc.com>>  
BETS Project, <<http://www.thebetsproject.com>>  
Boeing, <<http://www.boeing.com>>  
Boeing Airborne Laser, <<http://www.airborne-laser.com>>  
Bohemian Interactive Simulations, <<https://bisimulations.com>>  
Clausewitz.com, <<http://www.clausewitz.com>>  
CNS, The James Martin Center for Nonproliferation studies, <<http://www.nonproliferation.org>>  
Coherent, <<http://www.coherent.com>>  
Complexity Explorer <<https://www.complexityexplorer.org>>  
COSPAR SARSAT Italia, <<http://www.cospas-sarsat-italy.it>>  
CSIS, <<http://csis.org>>  
CSSI, <<http://www.cssi.unifi.it>>  
CubeSat Kit, <<http://www.cubesatkit.com>>  
Defense Industry, <<http://www.defenseindustrydaily.com>>

\* Ultimo accesso: 09/2016.

Defense Technical Information Center, <<http://www.dtic.mil>>  
Department of Defense, <<http://www.dod.mil>>  
Department of Economics – Iowa State University, <<http://www.econ.iastate.edu>>  
Digital Globe, <<http://www.digitalglobe.com>>  
Director, Operatio, Test and Evaluation, <<http://www.dote.osd.mil>>  
Environmental Studies, <<http://www.environmental-studies.de>>  
EO Portal, <<http://eoportal.org>>  
ESA, <<http://www.esa.int>>  
European Commission, <<http://ec.europa.eu/>>  
European Space Imaging, <<http://www.euspaceimaging.com>>  
F35, <<http://www.f35.com>>  
FBI, <<http://www.fbi.gov>>  
Federal Communications Commission, <<http://www.fcc.gov>>  
Federation of American Scientist, <<http://fas.org>>  
Global Research, <<http://globalresearch.ca>>  
Global Security, <<http://www.globalsecurity.org>>  
GPS Commission, <<http://www.gps.gov>>  
High Frontier, <<http://highfrontier.org>>  
IISS, <<http://www.iiss.org>>  
Institut français des relations internationales, <<http://www.ifri.org>>  
Instituto de Astrofísica de Canarias, <<http://www.iac.es>>  
Intelsat, <<http://www.intelsat.com>>  
ISRO, <<http://www.isro.org>>  
JANUS System, <<http://januswiki.com>>  
Khrunichev, <<http://www.khrunichev.ru/>>  
Liber Liber, <<http://www.liberliber.it>>  
Lockeed Martin, <<http://www.lockeedmartin.com>>  
Microsoft, <<http://msdn.microsoft.com>>  
Ministero della Difesa, <<http://www.difesa.it>>  
Missile Defense Agency, <<http://www.mda.mil>>  
MIP, <<https://www.mimworld.org>>  
MIT, <<http://mit.edu>>  
Mitsubishi, <<http://h2a.mhi.co.jp>>  
NASA, <<http://www.nasa.gov>>  
National Space Society, <<http://www.nss.org>>  
NATO, <<http://www.nato.int>>  
Naval Research Laboratory, <<http://www.nrl.navy.mil>>  
New Mexico State University, <<http://geophysics.nmsu.edu>>  
NOAA, <<http://www.noaasis.noaa.gov>>  
NORAD, <<http://www.norad.mil>>  
N2YO, <<http://www.n2yo.com>>  
Ohb System, <<http://www.ohb-system.de>>  
Orbital Science Corporation, <<http://www.orbital.com>>  
PCMag, <<http://www.pacmag.com>>  
Planetek Italia, <<http://www.planetek.it>>

Realtà-Aumentata.it, <<http://www.realta-aumentata.it>>  
Rheinmetall, <<http://www.rheinmetall.com>>  
Rockwell Collins, <<http://www.rockwellcollins.com>>  
Ronald Reagan Presidential Library, <<http://www.reagan.utexas.edu>>  
Royal Air Force, <<http://www.raf.mod.uk>>  
Saab Group, <<http://www.saabgroup.com>>  
San José State University Economics Department, <<http://www.sjsu.edu>>  
Scarlet, <<http://www.scarlet.be>>  
SDA, <<http://www.space-data.org>>  
Selex-es, <<http://www.selex-es.com>>  
Clay Shirky's Internet Writings, <<http://www.shirky.com/>>  
Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare, <<http://www.meteoam.it>>  
Space Flight, <<http://www.spaceflight101.com>>  
Space Flight Now, <<http://www.spaceflightnow.com>>  
Space Track, <<http://www.spacetrack.org>>  
SpaceWorks, <<http://www.sei.aero>>  
SpaceX, <<http://www.spacex.com>>  
SSBV Aerospace & Technology Group, <<http://www.ssbv.com>>  
Thales Alenia Space, <<http://www.thalesgroup.com>>  
The Web Page of Jerry Proc, <<http://www.jproc.ca>>  
The Worlds of David Darling, <<http://www.daviddarling.info/>>  
Ulisse, <<http://ulisse.sissa.it>>  
Unione Scienziati per il Disarmo, <<http://www.uspid.org>>  
United Launch Alliance, <<http://www.ulalaunch.com>>  
Universitat Politècnica de Catalunya, Master in Aerospace Science &  
Technology, <<http://upcommons.upc.edu>>  
Utah States University Research, <<http://digitalcommons.usu.edu>>  
U.S. House of Representative, <<http://www.house.gov>>  
U.S. Navy, <<http://www.navy.mil>>  
Venus in Arms, <<http://www.venusinarms.com>>  
Villanova University, <<http://www.villanovau.edu>>  
VIMEO, <<https://vimeo.com>>  
White House, <<http://www.whitehouse.gov>>  
White Sands Test Center, <<http://www.wsmr.army.mil/testcenter>>  
YAGI, <<http://www.yagiantenna.net>>



## TITOLI PUBBLICATI

1. Antonio Sparacino, *Considerazioni sul credito di ultima istanza all'indomani della crisi. Le città europee, evoluzione e futuro*, 2013
2. Chiara Dara, *Gross violations dei diritti delle donne in Messico: la risposta del diritto internazionale*, 2014
3. Giulia Mannucci, *Il conflitto di giurisdizione tra Italia e India nel caso *Enrica Lexie*: quale ruolo per il diritto internazionale?*, 2014
4. Marzio Di Feo, *Automi, realtà virtuale e formiche. Un'analisi della complessità del fenomeno bellico spaziale*, 2016

