

Tecnologia radar e sostenibilità

Alfonso Farina *Leonardo Consultant*

Paolo Casanova, Vincenzo Sabbatino, Luca Timmoneri *Leonardo SpA*

La tecnologia radar, sempre più presente nella società odierna, fornisce un contributo notevole alla nostra sicurezza e protezione. Lo scopo del presente articolo è fornire una panoramica sulle evoluzioni della tecnologia radar, che ne ridefiniscono il ruolo attuale, vedendola sempre più impiegata anche nel fronteggiare la crisi economica attualmente in atto

Il concetto del Radar (*Radio Detection and Ranging*) risale a oltre 100 anni fa. Nel 1904 Christian Hülsmeyer depositò con successo un brevetto per il “Telemobiloscope”, generalmente riconosciuto come il capostipite del radar [1]. Un disegno del suo apparato, compreso l'uso previsto per il rilevamento delle navi, è mostrato in figura 1.

Nonostante le prime dimostrazioni del dispositivo avessero avuto un certo successo, l'apparato non fu mai stato finalizzato e non ottenne alcun successo commerciale. L'idea cadde nel dimenticatoio e fu solo una trentina di anni dopo che iniziarono dei significativi sviluppi in campo radar. Gran parte di questo lavoro fu condotto in notevole segretezza, e gli sviluppi procedettero contemporaneamente in diversi Paesi quali Stati Uniti, Regno Unito, Germania, Giappone e Stati Uniti.

Il lavoro nel Regno Unito si rivelò particolarmente significativo e di successo in quanto divenne la base di un sistema di difesa aerea molto efficace. Gli sviluppi furono guidati da Sir Robert Watson-

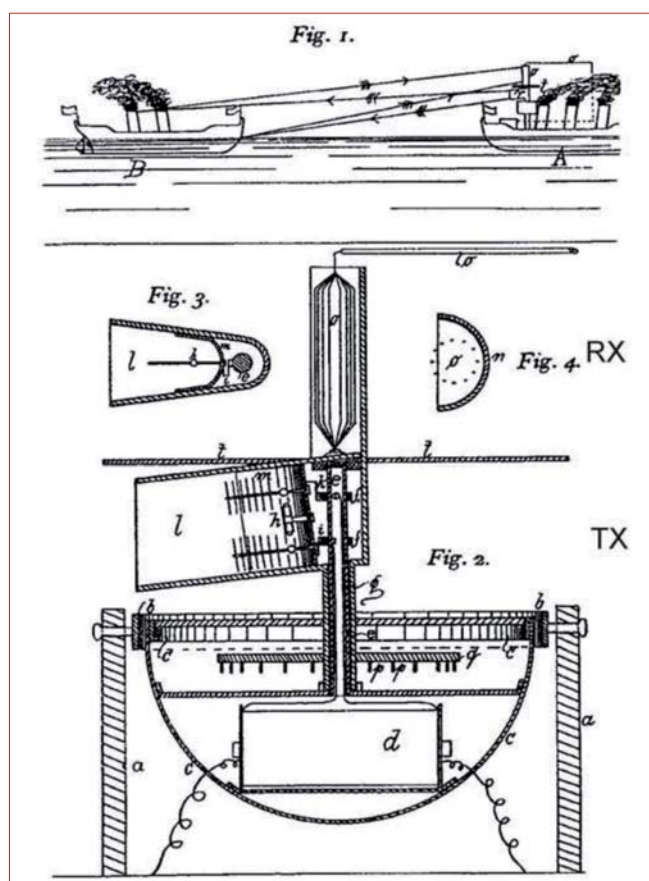


Figura 1
Il Telemobiloscope

Watt, che è generalmente considerato il “padre del radar” - ma, come osservò lui stesso, Christian Hülsmeyer era suo nonno.

La storia del radar in Italia iniziò con Guglielmo Marconi, quando riportò il suo primo discorso negli atti IRE, 1922, “Io ritengo che dovrebbe essere possibile progettare apparati per mezzo dei quali una nave possa irradiare un fascio di tali onde in una direzione voluta, le quali onde, ove incontrino un oggetto metallico, quale un'altra nave, siano riflesse su un ricevitore schermato rispetto al trasmettitore della nave trasmittente e quindi immediatamente diano la presenza ed il rilevamento dell'altra nave nella nebbia o nel cattivo tempo” [2].

Per studiare questo fenomeno Marconi condusse una serie di esperienze a Torre Chiaruccia (vicino Roma). Le prove mostrarono segnali da 16-30 km rilevati con un ricevitore supereterodina installato in un'auto Balilla.

In seguito agli esperimenti di Marconi, il Prof. Ugo Tiberio iniziò degli studi relativi ai radar nel 1934 presso il *Regio Istituto Elettrotecnico e Comunicazioni* (RIEC) della Marina Militare Italiana, (oggi Mariteleradar Livorno) e sviluppò il radar "Gufo" (Civetta), installato a bordo delle navi della Marina Militare Italiana durante la Seconda guerra mondiale.

Oggi la tecnologia radar pervade la nostra società e contribuisce grandemente alla nostra sicurezza e protezione. Sistemi radar militari basati a terra e in mare, a bordo di mezzi aerei e nello spazio continuano a fornire informazioni in qualsiasi condizione atmosferica, giorno e notte e assicurano l'efficacia dei sistemi militari per la nostra sicurezza. Il radar satellitare fornisce una copertura globale per il telerilevamento, fornendo una grande quantità di dati utili per il "monitoraggio" del nostro pianeta ed è stato persino utilizzato nelle indagini planetarie per studiare altri pianeti. L'intera sicurezza della gestione del traffico aereo è dipendente dal radar, mentre i radar meteorologici forniscono elementi essenziali per la previsione e il controllo meteo. Ogni nave commerciale porta il radar come una parte essenziale del suo sistema di navigazione.

La lista, non esaustiva, riportata di seguito illustra le molteplici applicazioni del radar, nel campo civile, commerciale, della difesa e per l'osservazione dello spazio.

Civile commerciale:

- controllo del traffico aereo (ATC) per la rotta, l'avvicinamento e il *Terminal Control Area* (TMA);
- monitoraggio di superficie del traffico aereo in aeroporto, tramite diverse classi di sensori;
- sensori meteorologici per l'aviazione (rilevamento di *micro-burst* e raffiche, profili di vento) e idrologia;
- sorveglianza del traffico navale;
- anticollisione per auto;
- applicazioni mediche;
- la penetrazione del suolo per geologia, infrastrutture, archeologia, rilevamento di mine.

Difesa:

- difesa aerea e navale (sorveglianza, tracciamento, guida delle armi);
- difesa antimissili balistici tattici (ATBM);
- sorveglianza passiva;
- controllo dei confini.

Osservazione dello Spazio:

- astronomia;
- altimetria spaziale;
- telerilevamento spaziale (sorveglianza delle colture, idrologia, geodesia, archeologia, astronomia, difesa);
- *Imaging SAR* (Radar ad apertura sintetica);
- esplorazione planetaria;
- acquisizione e tracciamento dei satelliti in fase di rientro, monitoraggio dei detriti spaziali.

La domanda a cui si vuole rispondere è come la tecnologia e la sistemistica radar, che è stata messa a punto e continua ad evolvere con successo, possa continuare ad aiutare nelle nuove sfide e necessità del nostro pianeta e della nostra società. Di seguito, una lista di applicazioni moderne che hanno beneficiato o potranno beneficiare della tecnologia radar.

Economia Digitale:

- 5G/6G;
- connettività a banda larga.

Economia Sostenibile:

- radar Meteorologici;
- *Radio-Echo Sounder*.

Economia "verde":

- radar passivi;
- sensori multiruolo.

Economia "spaziale":

- controllo della superficie terrestre;
- sorveglianza dello spazio;
- voli sub-orbitali.

Mercato civile:

- anticollisione per automobili;
- sensori per protezione e guida *Unmanned Ground Vehicle* - UGV.

Ruoli tradizionali:

- controllo del traffico aereo (ATC);
- sicurezza nazionale e cooperazione NATO.

Nel seguito di questo articolo verrà approfondita ognuna delle applicazioni su menzionate.

Economia Digitale

Quando la produzione, le informazioni e gli scambi sono basati su tecniche digitali, allora si può generalmente parlare di economia digitale. Il radar a *phased-array* (PHAR) partecipa alla produzione e scambio di informazioni che è l'essenza della *digital economy*.

Il PHAR è basato su una molteplicità di antenne che assolvono le funzioni di trasmissione e ricezione (TX/RX) collegate fra loro a formare un'unica antenna dalle notevoli prestazioni funzionali. I Moduli *Transmit/Receive Modules* (TRM) sono le "mattonel-

le” su cui si basano i PHAR e sono state rese possibili grazie allo sviluppo dei circuiti integrati. Gordon Moore (fondatore della Fairchild Semiconductor e Intel) nell’enunciare la famosa legge di Moore (“La complessità di un microcircuito, misurata ad esempio tramite il numero di transistor per chip, raddoppia ogni 18 mesi (e quadruplica quindi ogni 3 anni)”), preconizzò il successo dei radar a *phased-arrays* grazie all’impiego di una molteplicità di fonti di alimentazione a microonde integrate. Era il 1965!

Il primo radar a *phased-array* realizzato in Selenia risale al 1966, e fu descritto nella sua realizzazione e test dal Prof. Edoardo Mosca in un rapporto tecnico. La figura 2 sintetizza l’evoluzione delle architetture e sistemi radar *phased-array* dalla decade del 1960 a quelle del 2020: passive, attive, digitali: prima a livello di *subarray* e poi in ciascun elemento dell’array. Si noti il ruolo della tecnologia MMIC (*Monolithic Microwave Integrated Circuit*) e di elaborazione dei segnali.

La seguente figura 3 illustra come le stazioni base per la tecnologia 5G/6G utilizzino antenne *phased-array* che sono un tipico sviluppo del campo radar e al contempo una opportunità di produzione di massa per la tecnologia TRM. Esiste naturalmente anche una solida competenza nella gestione di questi apparati, che potremmo assimilare al concetto di Comando e Controllo (C2) ben noto nel campo militare. Si realizza una convergenza fra radar, scalabilità tecnologica e *networking*.

Elon Musk (fondatore di Space Exploration - SpaceX Technologies Corporation, co-fondatore, CEO e *product architect* di Tesla e co-fondatore e CEO di Neuralink) in una intervista del 2015 parla di Starlink: una costellazione di 900 satelliti in orbita bassa, per fornire connettività Internet a banda larga ai consumatori dell’intero pianeta e non solo

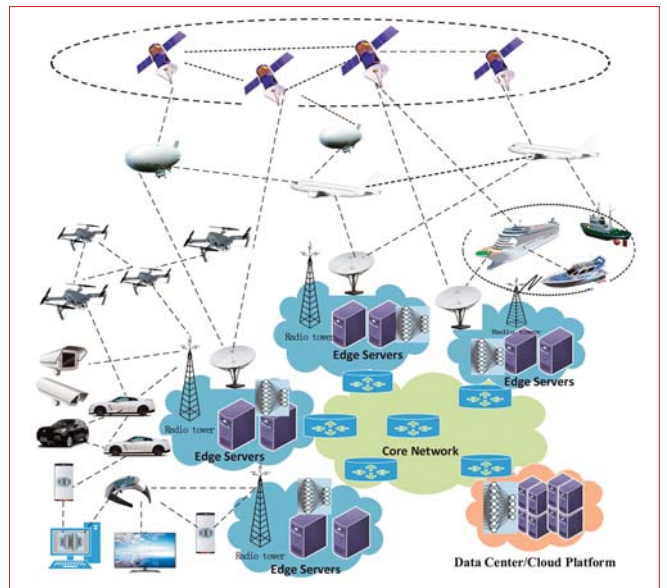


Figura 3
Impiego dei *phased-array* per le base-station 5G/6G - Xiuquan Qiao, Yakun Huang, Schahram Dustdar, Junliang Chen, 6G Vision: An AI-Driven Decentralized Network and Service Architecture, *Internet Computing*, vol. 24, n. 4, 2020, pp. 20-28



Figura 4
Impatto dei *phased-array* per Internet a banda larga

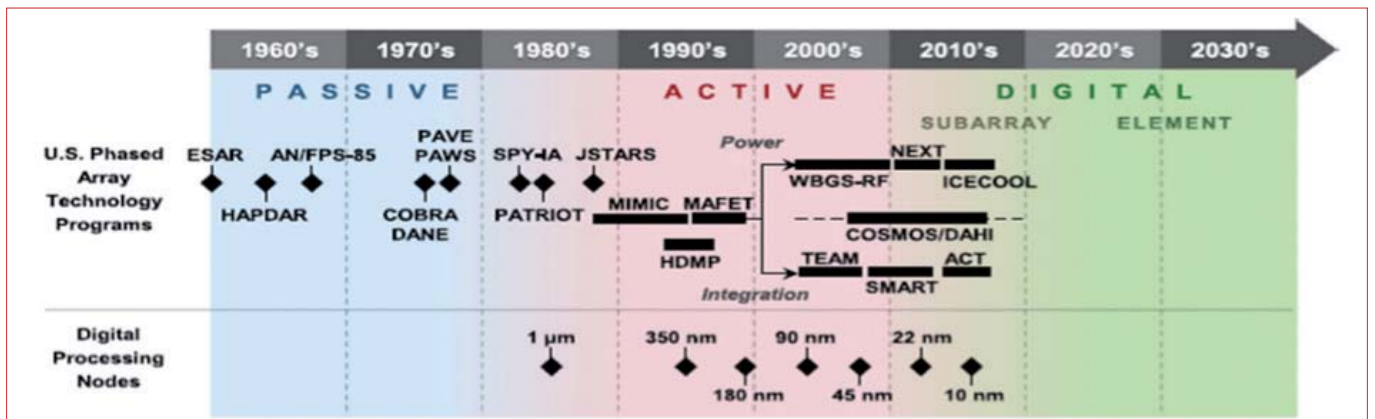



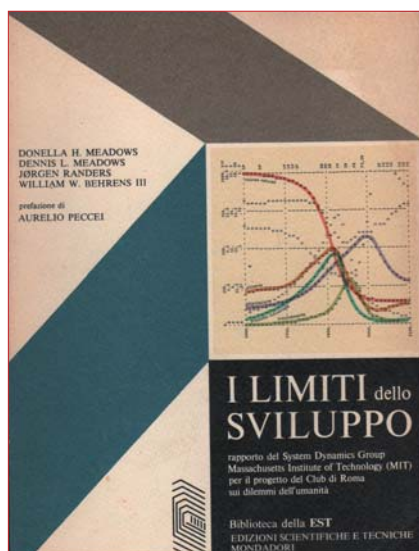
Figura 2
Evoluzione delle architetture radar a *phased-array* - Jeffrey S. Herd, M. David Conway: The Evolution to Modern Phased Array Architectures', *Proceedings of the IEEE*, Vol. 104, Issue: 3, marzo 2016

delle aree più sviluppate. I terminali utente del sistema utilizzeranno antenne *phased-array*. La tecnologia *phased-array* è quindi alla base della diffusione di Internet a banda larga grazie alla costellazione di satelliti, favorendo la riduzione delle disuguaglianze e facilitando l'accesso al lavoro. La figura 4 appare significativa. Un maestro del Ghana disegna alla lavagna per i suoi allievi, come appare lo schermo di un Personal Computer che gli studenti non hanno a disposizione. La frase che segue fa ancor più riflettere: "Colpevoli del bene che non abbiamo fatto". L'uso dei *phased-array* ha contribuito e contribuirà al superamento di queste barriere.

Economia sostenibile

L'economia sostenibile mira a fornire la massima quantità di benessere generale, con il minor utilizzo di risorse e danni ambientali. La domanda complessiva di risorse naturali deve essere inferiore alla fornitura di risorse rinnovabili della natura. Anche la frequenza con cui si accede alle risorse deve essere adeguata alla capacità di rigenerazione.

Figura 5 
Copertina del
libro I limiti
dello sviluppo



Da studente di ingegneria, uno degli autori - Alfonso Farina - fu incuriosito dal libro *I limiti dello sviluppo* (Figura 5), che per la prima volta - forse - segnalava l'importanza pratica della crescita esponenziale oggi pericolosamente nota nell'ambito della diffusione virale.

Il Club di Roma fondato nel 1968 dal Prof. Aurelio Peccei (dirigente FIAT, AD di Olivetti, Accademico dei Lincei) e da un gruppo di scienziati internazionali, (Club di Roma, tuttora attivo, ma con sede in Svizzera) ha la missione di fare da catalizzatore dei cambiamenti globali, individuando i principali problemi che l'umanità dovrà affrontare, analizzandoli in un contesto globale e cercando soluzioni alternative nei vari scenari possibili. Fu inoltre colpito dal *World Model* che occupava due pagine del libro e mostrava *feedback loops* fra loro accoppiati che legavano: la popolazione, il capitale, l'agricoltura, l'inquinamento, i servizi, le risorse, ecc.

Crediamo poi sia necessario ricordare l'impegno di Al Gore (VP USA durante la presidenza Clinton) e del gruppo di scienziati interdisciplinari (oceanografi, fisici dell'atmosfera, climatologi, economisti, ingegneri chimici, ecc.) che tutti ricevettero il Premio Nobel per la Pace (2007). Furono in grado di mettere a punto l'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), forum scientifico formato nel 1988 da due organismi delle Nazioni Unite, l'Organizzazione meteorologica mondiale (WMO) e il Programma delle Nazioni Unite per l'ambiente (UNEP) per lo studio del riscaldamento globale.

Più recentemente sembra opportuno citare il discorso del Prof. Roberto Cingolani (Figura 6) alla Siena Advanced School, sul tema *Technology and Sustainability*, a cui è legato l'interessante articolo del 2020 *Il compromesso del predatore*. Da quel discorso abbiamo ripreso alcune frasi davvero significative sul futuro della sostenibilità.

Figura 6 

Introduzione al discorso del Prof. Roberto Cingolani alla Siena Advanced School - www.youtube.com/watch?v=cTvYpnzFiPE

- Oggi l'innovazione è velocissima, e i *game changer* cambiano la storia dell'uomo.
- Per essere sostenibili bisogna trovare un equilibrio tra necessità e desideri: nessuna azione umana è a costo zero.
- Per migliorare la consapevolezza collettiva serve investire in cultura, storia e scienza.

Avendo definito il contesto e le finalità dell'economia sostenibile, si può affermare che esistano diverse applicazioni per i sistemi radar. I radar meteorologici giocano un ruolo essenziale nel monitoraggio e previsione degli eventi climatici. La Leonardo GmbH, progetta, realizza, vende e installa il 20% di radar a livello globale. Lavorano in band X (8-12 GHz) ed in banda S (2-4 GHz). Sono sistemi polarimetrici e consentono di classificare (in modo non cooperativo) le idrometeore (pioggia, grandine, neve, ecc.). In figura 7 sono riportate delle foto dei sensori e due immagini dei loro schermi; il primo indica l'intensità di precipitazione e il secondo più a destra la classificazione delle regioni nelle varie idrometeore.

Le infrastrutture di radar meteorologici e anche di altri sensori radar - a livello nazionale ed europeo - sono utili per la biologia, scienza che studia gli esseri viventi, i fenomeni della vita e le leggi che li governano, e l'ecologia. Le potenziali applicazioni sono molteplici: l'agricoltura, la scienza della terra, l'istruzione, ecc. La ricerca e l'uso (in USA) dimostrano, ad esempio, la capacità di questi radar di percepire una varietà di movimenti di animali e altri comportamenti (figura 9).

Sempre ai fini climatologici, l'analisi anche in profondità della consistenza dei ghiacciai può essere effettuata con radar ad apertura sintetica (SAR). Il radio ecoscandaglio della ionosfera (60-1.000 km ionizzati dalle radiazioni solari) può essere effettuato con appositi radar ionosferici.

Economia "verde"

L'economia verde (o *green economy*) è il modello di sviluppo economico che tiene in considerazione l'attività produttiva, valutando sia i benefici de-

rivanti dalla crescita sia gli impatti ambientali causati dalla lavorazione delle materie prime. Uno dei prodotti radar a basso impatto ambientale è il *Passive Coherent Location* (o PCL) che fu impiegato nella seconda guerra mondiale e che è stato poi riscoperto e modernizzato in tempi recenti. Il PCL è un sensore multistatico che funziona senza un trasmettitore dedicato. Evita l'inquinamento elettromagnetico e riduce l'impatto sull'ambiente. IL PCL utilizza "trasmettitori commerciali di opportunità" come Radio (FM), Trasmissione audio digitale (DAB), Trasmissione video digitale - Terrestre (DVB-T) e altri ancora. La seguente figura 9 mostra il sensore passivo AULOS di Leonardo a una fiera internazionale e nel sito di Pratica di Mare. Impieghi già collaudati di AULOS sono: l'ausilio al controllo del traffico aereo, rilevamento e tracciamento di mini-droni, controllo e tracciamento del traffico marittimo [3-4].

Siamo inoltre osservatori e protagonisti di una simbiosi tra radar e sistemi di telecomunicazione che condurrà prevedibilmente alla nascita di sensori multi-ruolo adatti a svolgere contemporaneamente più di una funzione, per: ridurre il numero di installazioni sul territorio, gestire lo sfruttamento dello spettro e.m. (una *merce/commodity*), coesistere

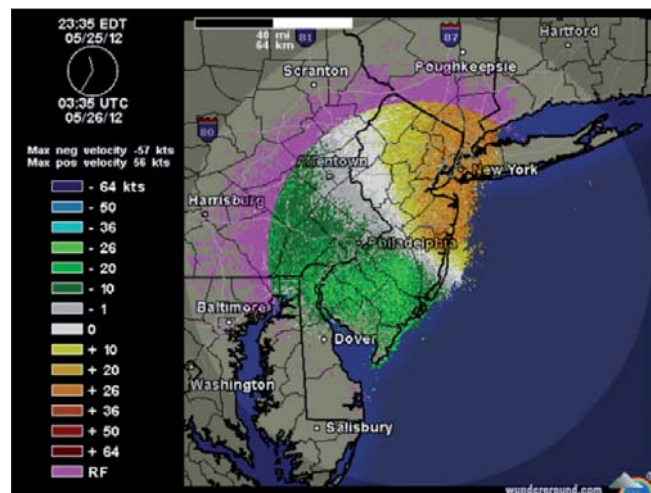


Figura 8
Esempio di uso dei radar meteo per seguire le migrazioni - <http://2.bp.blogspot.com/RWosbAqVbmc/UGZE65FyTRI/AAAAAAAAA CS4/3m55fdkh5Ng/s1600/25+May+2012+velocity.gif>

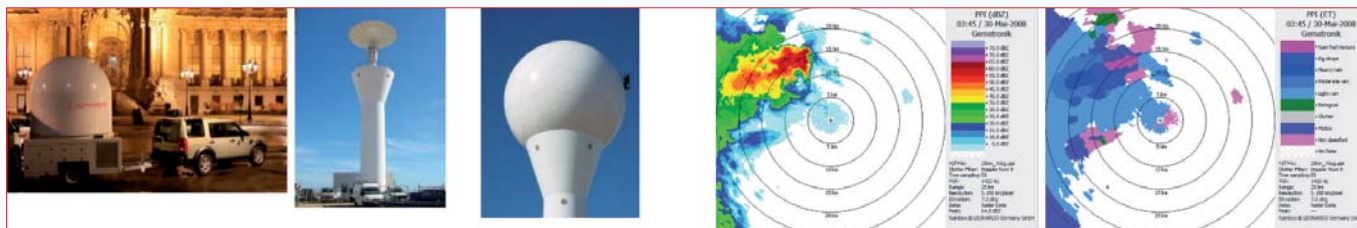


Figura 7
I sensori Meteor 60DX, 1700S e i loro schermi (Courtesy: Dr. F. Gekat, Leonardo Germany GmbH)

con i sistemi commerciali e contenere gli investimenti massimizzando gli sviluppi comuni. Ecolocalizzazione e comunicazione già esistono in forma congiunta in natura. Un esempio tra le specie di animali che utilizzano l'ecolocalizzazione, (oltre al pipistrello - il radar/sonar naturale per eccellenza) sono gli uccellini Oilbirds e Swiftlet che sfruttano i loro segnali biosonar anche per condividere informazioni, come riportato nella seguente figura 10 che illustra in maniera molto sintetica il principio del radar multi-ruolo su descritto.

Economia spaziale

Oggi la *space economy* a livello planetario implica oltre 400 miliardi di dollari. Le missioni spaziali sono complesse, rischiose, costose e con ritorni a medio-lungo periodo, da qui la necessità di collaborare a livello internazionale. È rilevante notare che scienza, tecnologia e politica si allineano per raggiungere lo scopo, mantenendo ambiziosi obiettivi su lunghi tempi come dimostrato in numerosi incontri e convegni (Figura 11).

La sensoristica spaziale, e in particolare i radar, giocano un ruolo importante. I primi radar nello spazio sono stati il radar altimetro, il radar ad a-

pertura sintetica (SAR) e lo scatterometro imbarcati sul satellite SEASAT (1978). Il SEASAT ebbe una vita breve (7 mesi) ma la quantità di dati inviati a terra è stata davvero copiosa e utile per lo studio del moto ondoso e quindi per scopi climatologici. Nel campo spaziale, l'Italia è leader con le due costellazioni di satelliti Cosmo-SkyMed dotate di SAR in banda X (SAR polarimetrico nella seconda costellazione).

La *space economy* offre una pluralità di applicazioni importanti. Controllare la salute del pianeta, prevederne l'evoluzione ed erogare servizi che



Figura 11
Stati generali della Space Economy in Italia



Figura 9
Il sensore passivo AULOS

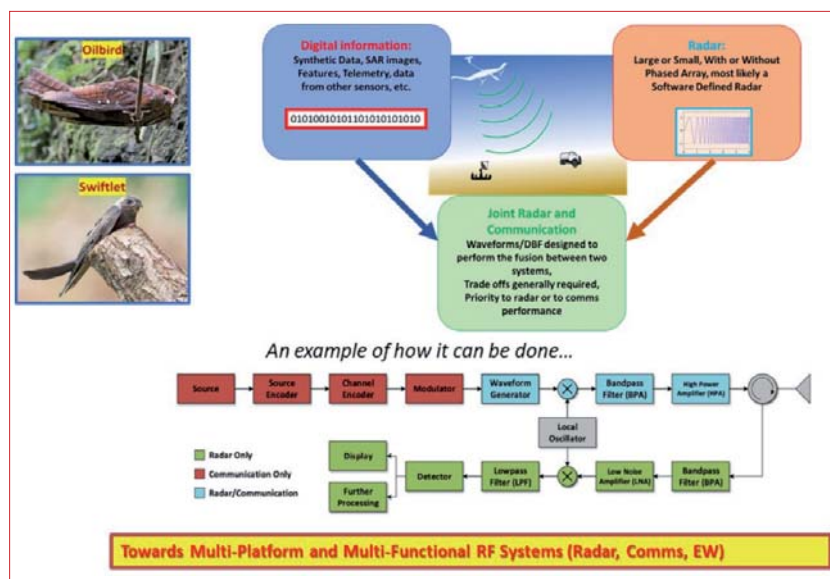


Figura 10
I sensori multi-ruolo

supportino lo sviluppo di una società verde (basti pensare all'agricoltura di precisione con l'impiego congiunto di SAR e *Global Positioning System* - GPS). La ricerca nelle scienze spaziali contribuisce - insieme a tutte le scienze - alla comprensione dei fenomeni naturali (e indotti dall'uomo). Inoltre, il radar ad apertura sintetica con interferometria differenziale e il radar meteorologico possono fornire una risposta rapida per gestire le emergenze a seguito di disastri naturali, laddove il tempo di reazione è particolarmente prezioso. L'impiego congiunto di AIS (*Automatic Identification System*) e SAR consentono anche la sorveglianza marittima globale dallo spazio.

La gran quantità di dati raccolti richiede nuovi strumenti matematici per *Data Science* quali l'Intelligenza Artificiale, che va sfruttata con grande senso di responsabilità, e la gestione efficiente di grandi quantità di dati (*Big Data management e analysis*).

Vanno infine menzionati i CubeSats - satelliti di piccole dimensioni - che possono essere messi in orbita dalla ISS (*Stazione Spaziale Internazionale*) sotto forma di costellazioni per aumentare il campionamento temporale e/o la copertura spaziale. Le applicazioni sono molteplici come il controllo di processi meteorologici, nuvolosi e di precipitazione che portano alla formazione di un'ampia varietà di fenomeni meteorologici su più scale spaziali e temporali (secondi, ore, giorni).

I CubeSats possono dare una rapida risposta ai disastri naturali. Ad esempio le inondazioni: se ne contano 1.753 a livello globale nel periodo 2005-2014. L'estensione dell'inondazione e la sua variazione misurate nel tempo rappresentano informazioni importanti per il processo decisionale in fase di risposta alle inondazioni. Similmente per i grandi terremoti.

Radar in a CubeSat (RainCube, Figura 12) è il primo radar in assoluto in un CubeSat nello spazio. È in banda Ka (26,5-40 GigaHertz (GHz)), opera in orbita bassa ed è operativo da luglio 2018. Ha un'antenna parabolica di mezzo metro. Interessante notare che c'è una Università dei CubeSat nell'ambito dell'Agenzia Spaziale Europea.

Un altro aspetto della *space economy* è legato ai lanci spaziali, la cui storia inizia con il satellite sovietico Sputnik 1 il 4 ottobre 1957, seguito poi da numerosi altri lanci condotti da decine di nazioni, da agenzie governative e più recentemente da privati. L'altra faccia della medaglia è costituita dalla notevole mole di detriti spaziali (chiamati *debris* nel

gergo specialistico): 100 tonnellate di detriti che sono ancora in orbita fra 300 e 1.000 km. Rappresentano un problema anche per le altre missioni spaziali. La rilevazione e il tracciamento dei medesimi rientra nel campo della *Space Situation Awareness* (SSA). Il problema è complesso per le piccole dimensioni e l'alta velocità dei *debris* e per il fatto che vengono rilevati per piccoli intervalli di tempo, mentre l'estrapolazione della traccia deve avvenire su lunghi intervalli di tempo [5].

È necessario un approccio multi-sensore. I radar della rete di Difesa Nazionale hanno già ottenuto preziose prestazioni di rilevamento di oggetti relativamente grandi in orbita. Il Centro Operativo di Sorveglianza e Tracciamento Spaziale Italiano (ISOC) di Pratica di Mare, grazie al coordinamento con l'Interforze Poligono di Salto di Quirra (PI-SQ) e con il supporto dell'ASI e di altri enti nazionali, ha monitorato il rientro incontrollato in atmosfera della stazione spaziale cinese Tiangong-1.

Mercato Civile

La scalabilità tecnologica ha cambiato tutto. Il radar su un chip, il personal radar *torch*, erano previsti dalla legge di Moore del 1965. La tecnologia radar sta entrando nella nostra vita quotidiana. Le applicazioni sono numerose: dalla salute (tecnologia a bassa potenza con onde mm per bio-radio-localizzazione remota e *contactless*), all'*automotive*, alle misure in impianti industriali, all'interfacce uomo-macchina innovative in grado di rilevare sofisticati gesti 3D. Dopo il *touch-screen* di due de-

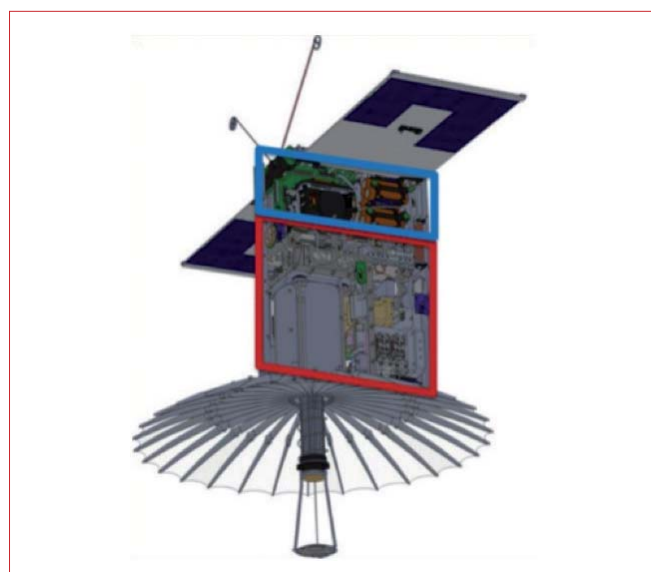


Figura 12

Radar in a CubeSat (RainCube) -

www.spiedigitallibrary.org/journals/journal-of-applied-remote-sensing/volume-13/issue-3/032504/RainCube—the-first-ever-radar-measurements-from-a-CubeSat/10.1117/1.JRS.13.032504.full?SSO=1

cenni fa, si passa al *touch free* con radar a bassa potenza che rilevano la segnatura cosiddetta *micro-doppler* dei gesti della mano.

La figura 13 illustra le molteplici funzioni e il prevedibile successo commerciale (*multi-billion dollars*) del radar in configurazione MIMO (*Multiple*

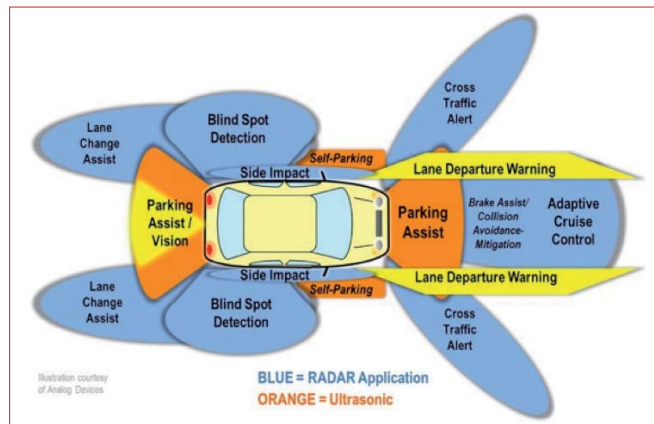


Figura 13
 Radar MIMO per automobili -
www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1316639

Input Multiple Output) nelle macchine di nuova generazione. Tutte le zone in blu della figura 13 mostrano le aree relative alle applicazioni radar.

L'evoluzione di questo tipo di sensori è verso la guida autonoma di mezzi privi di pilota quali gli UGV (*Unmanned Ground Vehicle*) e le auto commerciali in situazioni particolari quali, ad esempio, le condizioni atmosferiche avverse (nebbia).

La figura 14 mostra l'interazione fra radar e droni per le due missioni di protezione di aree critiche e sorveglianza. Da una parte, infatti, il radar deve fornire protezione contro i sistemi aerei senza pilota (droni) per tutelare le infrastrutture critiche e in occasione di "grandi eventi" da potenziali attacchi terroristici. D'altra parte, il radar a bordo di sistemi aerei senza pilota ad ala fissa o rotante fornisce capacità di sorveglianza in tutte le condizioni atmosferiche.

Ruoli tradizionali

Il radar continua a contribuire alla sicurezza e alla fluidità del controllo del traffico aereo [7]. Il radar per il controllo del traffico aereo continua a essere fondamentale nella fase di ripartenza del traffico commerciale degli aeromobili. Infatti sono previste espansioni degli aeroporti (ad es., Heathrow, 3ª pista), aumento del traffico di elicotteri, droni per la consegna dei pacchi e il trasporto passeggeri, nuovi tipi di aeromobili, ad esempio a propulsione elettrica (Airbus E-Fan), che comporteranno diversi tipi di percorsi di volo, con impatto sulle procedure dell'ATC.

La figura 15 si riferisce ad un bellissimo successo tecnologico e dell'ingegneria italiana. Si tratta di una antenna a *phased-array* cilindrica che genera più fasci di puntamento mediante le cosiddette matrici di Butler con tecnologia allo stato dell'arte. L'applicazione è per un *Secondary Search Radar* (SSR) ovvero IFF (*Identification Friend or Foe*).

Sono anche previsti viaggi suborbitali da 20 km a 150 km di quota con partenza e rientro in spazio-



Figura 14
 Possibili interazioni radar/droni: proteggere e rilevare



Figura 15
 Radar ad antenna conformal - Courtesy: Drs. M. Angelilli, L. Infante, P. Pacifici

porti dedicati come riportato pittoricamente in figura 16. È necessario un nuovo sistema per il controllo di questo tipo di traffico “civile” che includa un radar innovativo e integrato in un centro di controllo del traffico *ad hoc*.

Il radar continua a contribuire alla sicurezza nazionale e in ambito NATO [6]. Si può fare riferimento a titolo di esempio ad un caso, per fortuna non frequente, di minaccia ipersonica dallo spazio! Il 15

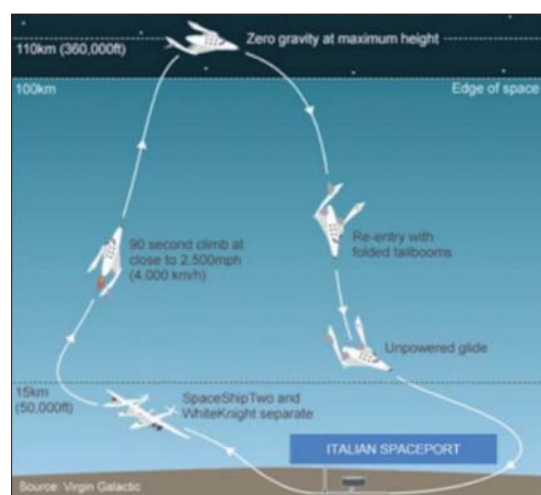


Figura 16
Traffico sub-orbitale

febbraio 2013, un asteroide largo 19 metri, alla velocità di 19 km al secondo, ha attraversato il cielo della città di Chelyabinsk in Russia provocando numerosi feriti. In aggiunta a queste minacce provenienti dallo spazio, è ipotizzabile nel prossimo futuro lo sviluppo di minacce ipersoniche a scopo di offesa. Si tratta di tecnica, che volano nuovi tipi di missili di cui già si parla nella letteratura tecnica e che volano a 7 Mach e seguono traiettorie non balistiche.

Per la difesa contro questo tipo di minacce sembra necessario uno strato di sensori dallo spazio che cooperi con i sensori radar a terra come mostrato nella seguente figura 17. In futuro si potrebbe prevedere una costellazione di CubeSat con radar a bordo che operino come un esteso *phased-array* distribuito nello spazio.

Infine va menzionato il lavoro dell’Agenzia Europea per la Difesa (EDA) nel settore della Ricerca e della Tecnologia (R&T) con la missione di sostenere gli Stati Membri nei loro sforzi per migliorare le capacità di difesa.

EDA organizza le sue priorità in aree tecnologiche di capacità (CapTech) per mettere in rete esperti del governo, dell’industria, delle piccole e medie imprese (PMI) e del mondo accademico. Di notevole rilievo è il CapTech in ambito radar. Infine, vanno ricordate le Call EDIDP (*European Defence Industrial Development Programme*) che prevedono attività di studio e progettazione a livello industriale nel campo dei radar propedeutiche ai futuri programmi di sviluppo noti come EDF (*European Defense Fund*).

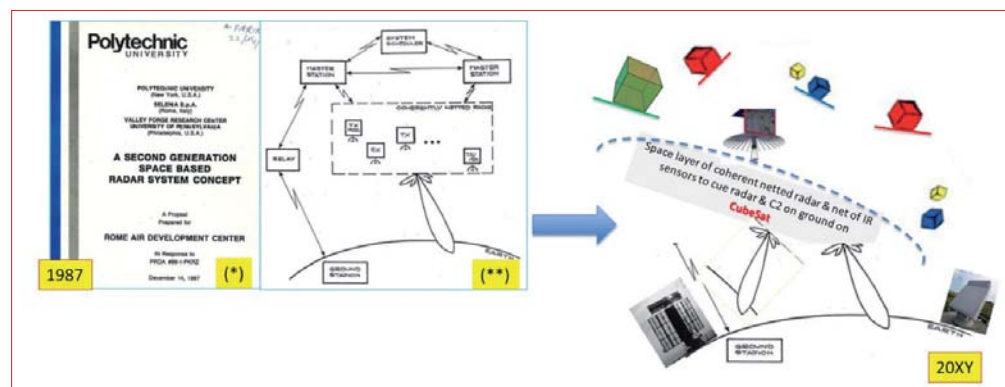


Figura 17
Rete di sensori installati su satelliti per la difesa da minacce ipersoniche

BIBLIOGRAFIA

- [1] T. Kinghorn, S. Gallone: RADAR - Over One Hundred Years of Innovation, *Polaris Innovation Journal*, n. 22, 2015.
- [2] www.iet.unipi.it/labradar/radar.html
- [3] A. Farina: Green radar state of art: theory, practice and way ahead, ICASSP - *Int. Conference on Acoustic, Speech and Signal Processing*, Firenze, 8 maggio 2014, <https://ieeetv.ieee.org/conference-highlights/green-radar-state-of-art-theory-practice-and-way-ahead?>
- [4] A. Di Lallo, A. Farina, R. Fulcoli, S. Immediata, M. Sedehi, E. Tilli, L. Timmoneri: Industry Insights: AULOS @: Finmeccanica Family of Passive Sensors, *IEEE A&E Systems Magazine*, vol. 31, n. 11, pp. 24-28, novembre 2016, ISSN 0885-8985.
- [5] L. Timmoneri, A. Farina, F. Feudo, S. Pagliai, R. Petrucci, D. Vigilante, E. Bisogni: On the use of military long-range radars for Space Situational Awareness: an experimental test, *Sixth European Conference on Space Debris*, ESOC, Darmstadt, Germania, 22-25 aprile 2013.
- [6] A. Farina, P. Holbourn, T. Kinghorn, L. Timmoneri: AESA Radar - Pan-Domain Multi-Function Capabilities for Future Systems, *IEEE International Symposium on Phased Array Systems & Technology*, Boston, USA, 15-18 ottobre 2013.
- [7] M. Fiorini, M Galloro: Transportable ATC systems metrology, *Special Session - Metrology for Radar Systems - Part I, IEEE MetroAeroSpace*, 22-25 giugno 2021.