

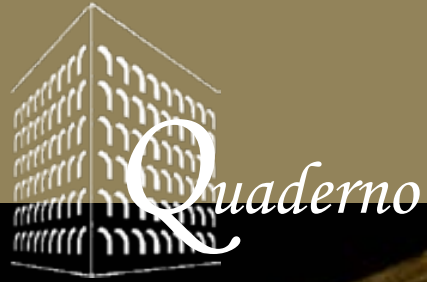


Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma

N 1/2019

# Quaderno





In copertina:  
Pantheon



# Il saluto del Presidente

Dott. Ing. Carla Cappiello



## *L'equo compenso arriva nel Lazio*

La IX Commissione consiliare della Regione Lazio ha visto licenziare il 25 febbraio scorso la proposta di legge n.69 su “*disposizioni in materia di equo compenso e tutela delle prestazioni professionali*”. E il 2 aprile con 36 voti favorevoli su 36 presenti. Il 3 aprile, il Consiglio Regionale del Lazio ha approvato la legge, che scaturisce da un proficuo ed intenso lavoro di confronto con l'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma, la Federazione degli Ordini degli Ingegneri del Lazio e altre categorie professionali.

Nei limiti delle competenze legislative regionali, con questa normativa si introducono strumenti atti a garantire che la Regione, le società controllate e gli enti strumentali riconoscano compensi equi ai professionisti. Gli è, così, assicurato il pagamento delle spettanze, a pena della sospensione del procedimento amministrativo che ha richiesto le loro prestazioni. Sono, inoltre, negate le autorizzazioni a chi non paga i progettisti.

Tale Legge rappresenta una tutela per noi ingegneri laziali, poiché approva regole fondamentali a garanzia della certezza del pagamento dei nostri compensi.

Nel Lazio siamo stati uniti, per affrontare la crisi economica che ci ha colpito duramente, anche a seguito di riforme che hanno generato una concorrenza al ribasso a scapito delle prestazioni erogate. La Federazione degli Ordini degli Ingegneri del Lazio e l'Ordine degli Ingegneri di Roma, in prima fila, sono stati compatti nel portare avanti questa importante normativa. I temi trattati sono di estrema rilevanza, in quanto vanno ad incidere sul lavoro e, di conseguenza, sulla vita di numerosi colleghi. Sono convinta che l'“unione politica” di noi professionisti sia l'unica via utile a risolvere problemi comuni a tutte le categorie di appartenenza, come l'equo compenso e l'eccessiva pressione fiscale e previdenziale.

Soventemente i professionisti, pur di lavorare, hanno dovuto subire, la già citata concorrenza al ribasso, clausole altamente vessatorie, pagamenti dilazionati in tempi lunghissimi. Nel nuovo mercato del lavoro, caratterizzato da competenze sempre più fluide, si sono costituiti diritti “inediti”, non sempre facili da codificare. Il rischio è la costante svalutazione del concetto stesso di professionalità. Di certo, l'equo compenso non è l'unica soluzione per riavviare l'attività dei liberi professionisti, che

rappresentano, pur sempre, una fetta abbondante del PIL del Paese, più del 10%. Oltre all'equo compenso, sarebbe necessaria una riforma globale del lavoro autonomo, contribuendo così a dare più tutele in tema di certezza dei pagamenti.

Tra gli obiettivi della norma quello di frenare l'incessante calo dei redditi dei professionisti italiani che, tra il 2005 e il 2017, si è attestato al 19%. Il dato che preoccupa di più è quello legato all'età e al genere, visto che il reddito medio di un professionista sotto i 40 anni arriva al 50% di quello di un over 45 mentre il reddito delle donne non va oltre il 56% di quello degli uomini.

Purtroppo, nella recente di legge di bilancio non c'è una norma atta a rafforzare l'equo compenso per i professionisti e ampliarne l'obbligo di riconoscimento a tutti i committenti. Credo che sia necessario che, come è avvenuto nel Lazio e in altre regioni italiane, tutte le categorie professionali siano unite verso l'obiettivo comune. Ma che soprattutto le forze del Governo centrale dimostrino maggiore sensibilità e attenzione verso queste tematiche, tutelando più *di due milioni di professionisti ordinistici*, che quotidianamente portano avanti il loro lavoro a garanzia degli interessi della collettività.

Ing. Carla Cappiello  
Presidente  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma

# L'Editoriale

Ing. Francesco Marinuzzi Ph.D.



*Il 5G: il nascere di un nuovo mondo.*

Era il 1492 quando Cristoforo Colombo scoprì il “nuovo mondo”, dando inizio all’era moderna. Dopo i tentativi falliti di tanti precedenti esploratori, fu lui il primo a riuscire a superare tutto l’Atlantico, approdando nelle Americhe. Scoperta la rotta, si aprì una grande stagione di spedizioni e colonizzazioni che portarono lo spirito del mondo dal vecchio continente al nuovo continente, in una corrispondenza di genti, lingue e culture, che rendeva indifferente la massa d’acqua frapposta ma rilevante soltanto la latitudine. La Gran Bretagna si mappò sul continente a nord (Usa e Canada), Olanda e Francia in alcune isole centrali dei Caraibi, la Spagna nel Messico e nel Sud America, il Portogallo in Brasile ed infine anche l’Italia, in piccola parte, nell’Argentina. Di poi, continuando la sua corsa verso l’oriente, lo spirito ha acceso il Giappone, la Cina e l’India fino a tornare nella madre Europa donandoci l’attuale mondo globale e interconnesso dove in pochi secondi tutte le informazioni fluiscono liberamente da ogni luogo.

Oggi sta per essere svelato un “nuovo mondo” che porterà con sé significativi cambiamenti e nuove opportunità per tutti coloro che saranno in grado di viverlo e comprenderlo. Come il mondo di Colombo apparse dopo un lungo e periglioso viaggio per mare, questo nuovo mondo si sta svelando dopo una lunga serie di innovazioni digitali. Dal 1968 in poi c’è stato un aumento esponenziale della capacità dei sistemi informatici. Qualche tentativo di raggiungere il “nuovo mondo” lo abbiamo già visto con gli Hololens o i carton box, ma così come tante caravelle prima di quelle di Colombo, sono naufragati nel mare in tempesta. Qualche anno fa sembrava che tutti noi avremmo indossato i famosi occhiali per la realtà aumentata, e ancora oggi è difficile trovare visori per la realtà virtuale che non causino mal di testa. Ma perché si possa iniziare a vedere e camminare nel nuovo mondo non servirà ancora molto, perché stanno maturando gli ultimi tasselli sia tecnologici sia culturali.

Il concetto di esistente è legato spesso ai nostri sensi principali, quali la vista, l’udito e il tatto. Qualcosa che tocchiamo, vediamo o ascoltiamo esiste per definizione così come caro a San Tommaso. Pertanto, la nascita e l’esistenza di un nuovo mondo che appaia reale in quanto percepito veramente, passa per un *hackeraggio* dei sensi suddetti, in un inganno così perfetto da rendere la finzione reale.

A tal fine risulta necessaria una notevole capacità sia di elaborazione, sia di trasmissione ed una quasi infinita reattività (bassa latenza) in modo da inseguire ed allinearsi in tempo immediato ad ogni movimento della testa, delle mani o degli occhi. Ad esempio, una finestra affacciata su una baia esi-



ste per noi ed è diversa da un quadro di una baia perché non appena cambiamo la nostra posizione o cambia la luce interna od esterna oppure più semplicemente cambia il tempo, il paesaggio coerentemente ed immediatamente si modifica. Per simulare questo occorrerebbe anzitutto una risoluzione tale da sembrare più vera del vero, come negli ultimi schermi 8k, che significa un'enorme mole di dati. Una quantità che per essere elaborata richiede un'alta capacità di calcolo che difficilmente si può ottenere da un elaboratore domestico, ma che può invece essere trasmesso allo stesso. Per fare ciò tuttavia è fondamentale avere nelle trasmissioni dei dati sia una latenza pari quasi a zero, sia una notevolissima capacità di banda, due caratteristiche che solo il 5G può garantire. La forte connettività può rendere la rete il computer stesso e permette ed abilita tutta una serie di elaborazioni in cloud che rivoluzionano i rapporti di costo/beneficio e la facile accessibilità a soluzioni di intelligenza artificiale specifiche e verticali sia in modalità di learning o sensing, sia di acting.

Se dovessimo trovare una innovazione tecnologica precedente simile, anche se in scala molto ma molto più ridotta, che ha aperto a tutto un nuovo mondo di significato e finzione pieno di emozioni e di passioni, dobbiamo tornare indietro alla fine dell'Ottocento e all'invenzione del cinema. Grazie alla capacità di riprodurre più di 30 immagini simili al secondo, infatti, si riuscì ad ingannare il cervello grazie alla latenza dell'occhio e a dare una sensazione effettiva di movimento in tempo reale. Allo stesso modo, oggi, il 5G con la sua latenza quasi zero e capacità di trasmissione dati elevatissima permette di rendere immersiva l'esperienza virtuale e di arricchire completamente la fruizione della realtà tradizionale con infiniti contenuti vivi ed interattivi in dialettica fra loro o con lo stato dell'osservatore, sia fisico che concettuale, in modo da creare nuovi scenari d'uso e di fruizione dei servizi e dei prodotti reali o virtuali che siano.

Questo nuovo mondo apparirà e sarà conquistato più dai nuovi coloni coraggiosi e fiduciosi, in grado di muoversi da subito e con tempismo, che dagli scienziati e dagli intellettuali frenati dai mille dubbi ed ipotesi, memori di un passato di prove ed errori fatti in una fase ancora di immaturità tecnologica.

Le aziende hanno ampi spazi di riprogettazione interna dei processi produttivi e di erogazione dei servizi mentre la società inesorabilmente sposterà sempre più il valore aggiunto nei beni immateriali. Le case e gli immobili potranno aumentare di valore, in futuro, più per i valori aggiunti immateriali legati alla presenza di contenuti di realtà aumentata nella precisa posizione che alla esposizione al sole o al panorama disponibile dai suoi balconi. In modo molto embrionale ma già significativo avere

la possibilità di ricreare una *palestra Pokemon* in casa, grazie ad una buona connessione, rappresenta, per gli appassionati del gioco, una ulteriore motivazione all'affitto o acquisto del bene. E gli stessi parchi, anche anonimi, possono esser animati e riempiti improvvisamente da centinaia di persone con semplici community day legati al gioco di realtà aumentata che danno senso e significato nel tempo a posti qualunque. Le persone potrebbero spostarsi sempre più per fruire questi nuovi contenuti paralleli del nuovo mondo aumentato, associato e dislocato nel mondo reale.

Di poi, la disponibilità del 5G rende possibili ologrammi e possibilità di trasporto immediato fra posti territoriali predefiniti rendendo ancora più amico e caro il posto e il luogo fisico. Si sta aprendo una nuova corsa all'oro e un nuovo mondo sta emergendo con tutte sue logiche duali e solo in parte compatibili con quello tradizionale. Le tante opportunità saranno delle aziende e dei soggetti con più coraggio ad affrontare i possibili rischi di insuccesso e la velocità di azione sarà la variabile decisiva del successo. La principale tecnologia abilitante sarà il 5G e in Italia, storicamente ed anche ora, siamo molto ben posizionati per coglierne tutte le opportunità e raggiungere una posizione di eccellenza internazionale. Se il Paese sarà in grado di fare squadra potremmo cogliere a pieno questa nuova e rigenerativa onda tecnologica, riuscendo a colonizzare il nuovo mondo con le nostre eccellenze.

Ad maiora.

Francesco Marinuzzi Ph. D.  
Direttore Editoriale



# Quaderno

**Direttore responsabile**

Stefano Giovenali

**Direttore editoriale**

Francesco Marinuzzi

**Comitato di redazione****Sezione A**

Carla Cappiello

Gioacchino Giomi

Lucia Coticoni

Giuseppe Carluccio

Carlo Fascinelli

Lorenzo Quaresima

Manuel Casalboni

Filippo Cascone

Alessandro Caffarelli

Massimo Cerri

Francesco Fulvi

Tullio Russo

**Sezione B**

Giorgio Mancurti

**Amministrazione e redazione**

Piazza della Repubblica, 59 - 00185 Roma

Tel. 06 4879311 - Fax 06 487931223

**Direttore creativo e progettazione grafica**

Tiziana Primavera

**Stampa**

Press Up

**Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma**

Piazza della Repubblica, 59 - 00185 Roma

[www.ording.roma.it](http://www.ording.roma.it)

[segreteria@ording.roma.it](mailto:segreteria@ording.roma.it)

[editoriale@ording.roma.it](mailto:editoriale@ording.roma.it)

**Finito di stampare:** aprile 2019

Il Quaderno IOROMA è una estensione alla rivista IOROMA

La Direzione rende noto che i contenuti, i pareri e le opinioni espresse negli articoli pubblicati rappresentano l'esclusivo pensiero degli autori, senza per questo aderire ad esse.

La Direzione declina ogni qualsiasi responsabilità derivante dalle affermazioni o dai contenuti forniti dagli autori, presenti nei suddetti articoli.



**MISTO**

Carta da fonti gestite  
in maniera responsabile

**FSC® C109382**



**GLI EDITORIALI**

Il saluto del Presidente <i>di Carla Capiello</i>	<b>1</b>
L'Editoriale <i>di Francesco Marinuzzi</i>	<b>3</b>

**GLI ARTICOLI**

Storia del Project Management <i>A. Avallone</i>	<b>8</b>
C.T.M. vs C.T.U. - Consulenza tecnica in mediazione e consulenza tecnica d'Ufficio a confronto <i>P. Raimondo, G. Vitali</i>	<b>22</b>
Tecnologie nucleari innovative: i reattori SMR - prospettive di utilizzo <i>P. Allievi, A. De Blasiis, A. Di Pietro, M. Sepielli, E. Vocaturo, A. Mathis</i>	<b>32</b>

**GLI APPROFONDIMENTI**

Il collaudo di un sistema informatico <i>M. Di Carlo</i>	<b>58</b>
A "vele spiegate" verso Alfa Centauri <i>C. Di Leo</i>	<b>76</b>

**DAGLI EVENTI**

Cognitive Radio e Software Defined Radio per le reti di Telecomunicazioni verso il 5G <i>G. Gasbarrone, F. Benedetto</i>	<b>88</b>
Nuove architetture Fixed Wireless Access verso il 5G <i>M. Ferrauti</i>	<b>103</b>
Evoluzione delle infrastrutture trasmissive di Telecomunicazione verso il 5G <i>G. Gasbarrone</i>	<b>106</b>
Accesso dinamico allo spettro (DSA) <i>F. Benedetto</i>	<b>114</b>
Accesso e Sfruttamento Orbita Bassa Terrestre (LEO) <i>G. Nicolai, M. Balduccini, A. Ingenito, G. Rondinelli, F. Soldani, L. M. Trentadue, M. Zelli</i>	<b>124</b>

<b>L'AREA WEB DEL QUADERNO E DELLA RIVISTA</b>	<b>156</b>
------------------------------------------------	------------



Quaderno

# Storia del Project Management

a cura di  
Ing. A. Avallone

commissione  
Project Management  
in ambito Industriale

visto da  
Ing. W. Reali  
Ing. G. Boschi

Secondo il PMI (Project Management Institute) un progetto è “...un’iniziativa temporanea intrapresa per creare un prodotto, un Servizio o un risultato con caratteristiche di unicità...” (PM-BOK) tali caratteristiche lo differenziano dalle attività di routine (Operation) che sono per natura ripetitive.

Il Project Management, invece, è definito come “l’applicazione di conoscenze, capacità, strumenti e tecniche alle attività di progetto per soddisfare i requisiti” (PMBOK).

L’univocità di un progetto è data dai suoi vincoli che lo caratterizzano:

- **Schedulazione**
- **Budget**
- **Ambito**
- **Qualità**
- **Risorse**
- **Rischi**
- **Cliente**

Sin dall’antichità l’uomo ha realizzato opere gestendo questi vincoli utilizzando, inconsapevolmente, tecniche rudimentali di Project Management, dunque senza che una scienza o tecnica di Project Management venisse definita o standardizzata. Già Cesare nel 58 a. C. nella sua opera il “*De Bello Gallico*”, trattando nel IV libro la costruzione del Ponte sul Reno, cita inconsapevolmente i vincoli del project management in termini di Tempi, Obiettivo, Materiali e Risorse come di seguito: “*Da quando ebbe inizio la raccolta del materiale, in dieci giorni il lavoro fu portato a termine e l’esercito oltrepassò il fiume. Lasciati saldi presidi su entrambe le sponde, Cesare marciò verso il territorio dei Sigmabri*”.

Come quella di Cesare altre imprese ed opere dell’antichità possono essere prese ad esempio come progetti realizzati secondo uno schema rudimentale di project management:





*Quaderno*

**ALARM**

**LATE**

**SCHEDULE**

**BUSY**

**MANAGEMENT**

**RUSH**

**OVERTIME**





- Partenone:
  - Project Manager: Fidia
  - Progettista: Ictino
  - Tempi di realizzazione: 447 al 432 a. C.
  - Costi: furono coperti con il tesoro della Lega di Delo
  - Risorse Umane: indefinite
  - Cliente: Dittatore Pericle.
- Annibale, invasione dell'Italia attraverso le Alpi:
  - Tempi: circa 20 giorni
  - Requisito: effetto sorpresa verso l'esercito romano
  - Risorse Umane: perite durante la traversata: 18.000 fanti 2.000 cavalieri
  - Rischi: combattimenti con le popolazioni locali, condizioni climatiche.
- Colosseo nome originario "**Amphitheatrum Flavium**" dati di costruzione:
  - Tempi: dal 72 - 80 d. C.
  - Costi: Bottino della guerra di Gerusalemme
  - Risorse umane: indefinite in parte schiavi (manodopera non specializzata) in parte operai specializzati
  - Qualità: Totale rispondenza ai requisiti
  - Cliente: Imperatore Vespasiano.

Oltre ad opere realizzate con successo possono essere citati anche casi di grandi fallimenti come ad esempio, il più famoso nella storia, la realizzazione della Torre di Babele. Il progetto fallì a causa di problemi di comunicazione tra

gli "stakeholder" (*gli interessati*) che partecipavano alla realizzazione.

Rispetto all'età antica, ove le grandi opere erano largamente diffuse, nel medioevo fino al rinascimento sono venuti meno due fattori principali che ne hanno limitato l'espansione:

- Mancanza di una struttura ingegneristica organizzata
- Fine dello schiavismo diffuso.

In ogni caso, grandi progetti sono comunque stati realizzati principalmente in ambito religioso e militare. Per il primo caso si può prendere ad esempio la costruzione delle cattedrali e dei monasteri largamente diffusi in Europa in quel periodo:

- Cattedrale di Notre-Dame
  - Tempo di costruzione: 181 anni dal 1163 d. C. al 1344 d. C.
  - Finanziatori: Chiesa Cattolica e la corona di Francia
  - Risorse umane: muratori, carpentieri e fabbri locali
  - Requisiti: sostituire le chiese esistenti nell'area, non più sufficienti, con una cattedrale in grado di far fronte alla popolazione della neonominata capitale.
- Basilica di San Francesco
  - Tempo di costruzione: 25 anni dal 1228 d. C. al 1253 d. C.
  - Finanziatore: Chiesa Cattolica
  - Requisiti: ospitare le spoglie del santo, mezzo per trasmettere il messaggio francescano al popolo come meta di pellegrinaggio.





Per quanto attiene il secondo ambito (militare) si può menzionare la colossale impresa delle crociate, di cui si prende ad esempio la prima dei nobili:

- Tempo: 3 anni dal 1096 d. C al 1099 d. C
- Risorse: 35.000 combattenti
- Ambito: medioevo / guerre di religione
- Obiettivo: riconquistare la terra santa (Gerusalemme) occupata dai Turchi selgiuchidi
- Stakeholder: regni e nobili d'Europa, Chiesa Cattolica, impero bizantino, impero turco selgiuchide
- Rischi: risorse alimentari ed idriche, cooperazione tra i vari comandanti.

Anche se, come appena riportato, nel corso della storia l'uomo ha realizzato opere ed imprese utilizzando inconsapevolmente strumenti più o meno rudimentali di project management, è solo in epoca moderna che tali strumenti prendono forma in maniera ufficiale e strutturata. Bisogna aspettare la seconda metà del 1800 per vedere il primo esempio mondiale docu-

mentato di progetto su vasta scala, rappresentato dalla costruzione della *Transcontinental Rail Road* per unire le due coste degli Stati Uniti.

La **First Transcontinental Railroad** è una linea ferroviaria degli Stati Uniti d'America completata nel 1869, all'inizio della presidenza di Ulysses S. Grant, con lo scopo di unire il sistema ferroviario degli Stati della costa atlantica con la California e l'Oceano Pacifico. La creazione della linea ferroviaria ha stimolato la crescita di un sistema ferroviario nazionale che ha rivoluzionato l'economia dell'intero paese e favorito una straordinaria crescita demografica degli Stati dell'Ovest.

La realizzazione della ferrovia transcontinentale venne affidata a due grosse società da poco costituite, la Union Pacific e la Central Pacific.

Tale opera fu finanziata indirettamente dal governo attraverso l'elargizione di prestiti e di terreni adiacenti alla linea. La costruzione fu avviata nel 1863 e completata nel 1869 realizzando un percorso di 1086 miglia che consentivano il collegamento delle due sponde del continente in soli 7 giorni<sup>7</sup>.

Dopo ulteriori 50 anni, all'inizio del 1900, grazie



a personaggi del calibro di Taylor, Gantt, Fayol e Gilbreth, iniziano i primi studi strutturati sull'organizzazione del lavoro aziendale per migliorarne l'efficienza:

- L'idea di **F. Taylor** (1856-1915) consisteva nel superare il dilettantismo dei manager dell'epoca che miravano ad incrementare la produzione semplicemente attraverso il maggiore sfruttamento delle risorse. Taylor attraverso lo studio scientifico del lavoro e la cooperazione tra dirigenza qualificata e operai specializzati, riteneva possibile organizzare un proficuo rapporto, dal quale ambo le parti avrebbero ottenuto vantaggi. La sua ipotesi consisteva essenzialmente nel supporre l'esistenza di un "unico miglior modo" ("one best way") per compiere una qualsiasi operazione che avrebbe ottimizzato i processi produttivi incrementandone l'efficienza.

Taylor propose, inoltre, di applicare una riorganizzazione anche nella direzione dello stabilimento, con la creazione di un "dipartimento programmazione" e la creazione di una serie di otto capi-funzione che presidiassero le diverse funzioni aziendali<sup>2</sup>.

- **H.L. Gantt** (1861-1919) Studiò il modo per l'ottimizzazione della sequenza dei lavori necessari alla costruzione della flotta navale per la prima guerra mondiale.



È noto principalmente per aver ideato negli anni dieci del 1900 il Diagramma di Gantt, strumento grafico per la rappresentazione sull'asse temporale delle attività che concorrono al completamento di un progetto, permettendone così la programmazione ed il controllo dell'avanzamento. Tale diagramma è stato impiegato nella pianificazione e realizzazione delle principali opere in epoca moderna. Il diagramma è stato utilizzato anche per supportare le teorie di Taylor. Sulla base del diagramma di GANTT è nata, nella seconda metà del '900, la WBS (Work Breakdown Structure)<sup>3</sup>.

- **Henry Fayol** (1841-1925) con la sua *Teoria*

*generale dell'amministrazione aziendale*, individua cinque funzioni chiave del management industriale:

- prevedere e pianificare – cioè "nello stesso tempo prevedere il futuro e prepararlo; prevedere è già agire"
- organizzare – "organizzare un'azienda vuol dire munirla di tutto ciò che serve al suo funzionamento: materiali, strumenti, capitali, personale"
- comandare – cioè "trarre il maggior profitto possibile dagli elementi che compongono l'azienda e nel suo interesse"
- coordinare "vuol dire mettere armonia in tutte le azioni di un'azienda in modo da facilitarne funzionamento e successo"
- controllare – "verificare se tutto scorre conformemente al programma adottato, agli ordini dati e ai principi ammessi".

Fayol, individua come ruolo fondamentale del processo direttivo il **programma d'azione**, la cui predisposizione è una delle operazioni fra le più importanti e le più difficili per qualsiasi impresa "il risultato che si vuol raggiungere, la linea di condotta da seguire, gli stadi da attraversare, i mezzi da impiegare; è una specie di quadro su cui gli avvenimenti prossimi sono raffigurati con una certa precisione, mentre gli avvenimenti lontani appaiono sfumati; è l'andamento dell'azienda previsto e preparato per un certo tempo".

Fayol, con la definizione degli organi di linea gerarchici e degli staff da inserire stabilmente come supporto al lavoro corrente, pone le basi per la definizione delle strutture aziendali a matrice che sono oggi alla base di ogni organizzazione aziendale strutturata per progetti<sup>4</sup>.

- **Frank Bunker Gilbreth** (Fairfield, 7 luglio 1868 – Montclair, 14 giugno 1924), aiutato dalla moglie Lillian Moller Gilbreth, con la pubblicazione "The Psychology of management" (1914), fu un pioniere degli studi di economizzazione del movimento al fine di trovare un modo per aumentare la produzione attraverso l'analisi delle abitudini e dei comportamenti lavorativi degli impiegati dell'industria. Andando oltre lo studio dei tempi di Taylor, Gilbreth si è occupato principalmente di trovare il metodo migliore per l'esecuzione non solo di una mansione nel suo complesso, ma di ogni singolo movimento elementare compiuto dall'operatore, considerando anche gli aspetti umani del lavoro, tenendo presente le esigenze del lavoratore, le sue reazioni alla fatica e le sue necessità di riposo<sup>5</sup>.

Nonostante i primi studi sull'organizzazione del lavoro che hanno posto le basi per le tecniche di project management, è solo nella seconda metà del '900 che iniziano le prime ricerche de-



RT

### MY RUNNING LOG

April 1 - 30

DISTANCE (MILES)

PACE (TIME / MILE)



00 400 800

June

July

NOTES

Date	Distance	Pace	Notes
4/15/14	10.0	6:00	
4/18/14	12.0	5:30	Fast 5K
4/21/14	15.0	5:00	Run 5K
4/23/14	18.0	4:30	Run 5K
4/25/14	20.0	4:25	Run 5K



dicare che hanno portato tale materia a divenire una vera e propria disciplina riconosciuta a livello internazionale come oggi ci appare.

Il primo grande progetto con l'applicazione delle tecniche di project management è quello definito *Manhattan* relativo la fissione Nucleare 1942.

Il Progetto Manhattan (la cui componente militare fu indicata Manhattan District in sostituzione del nome in codice ufficiale, Development of Substitute Materials), fu la denominazione data ad un programma di ricerca e sviluppo in ambito militare che portò alla realizzazione delle prime bombe atomiche durante la Seconda guerra mondiale.

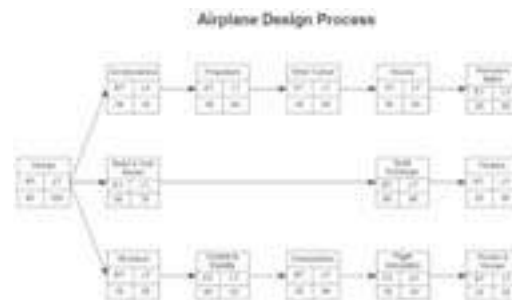
Il progetto, volto a raggiungere il vantaggio militare competitivo della fissione nucleare, iniziò grazie alla notizia data da Albert Einstein della scoperta da parte della Germania della fissione nucleare nel 1938. Nel 1939 venne creato il "comitato consuntivo per l'uranio" che si trasformò nel Progetto Manhattan solo nel 1942, condotto dagli Stati Uniti d'America con il sostegno di Regno Unito e Canada. Dal 1942 al 1946 il programma fu diretto dal generale Leslie Groves del corpo del Genio militare degli Stati Uniti, mentre la guida scientifica del progetto fu affidata, con pieni poteri, al Prof. Oppenheimer.



Nel tempo, il progetto assorbì l'analogo progetto britannico, Tube Alloys. Il Progetto Manhattan iniziò con poche risorse nel 1939 ma crebbe fino ad occupare più di 130.000 persone e costò quasi 2 miliardi di dollari americani. Oltre il 90% dei costi fu impiegato per costruire edifici e produrre materiale fissile, mentre solo il restante 10% venne impiegato per lo sviluppo e la produzione di armi. L'attività di ricerca e produzione ebbe luogo in più di 30 siti diversi negli Stati Uniti, Regno Unito e Canada.

Questo progetto cambiò le sorti della guerra, fornendo le prime bombe atomiche ed il conseguente disastro umano di Hiroshima e Nagasaki. La storia di "successo" di questo progetto è riportata nel "Rapporto Smith" del 1945<sup>6</sup>.

Dopo la Seconda guerra mondiale, gli studi continuano e vengono introdotti tre nuovi strumenti per la gestione dei progetti, i diagrammi Pert e CPM, per gestire i progetti di manutenzione degli impianti industriali, e la WBS per la gestione di progetti militari.





Il PERT (Program Evaluation and Review Technique), il CPM (critical path method) e la WBS (Work Breakdown Structure) sono i tre principali strumenti alla base del project management, volti alla scomposizione delle attività che compongono il progetto ed alla loro programmazione e, più in generale, alla gestione degli aspetti temporali di quest'ultimo. Di seguito una breve descrizione. Il PERT (detta anche stima a tre valori o three-point-estimation) è una tecnica sviluppata nel 1958 dalla Booz, Allen & Hamilton, Inc. (una ditta di consulenza ingegneristica), per l'ufficio Progetti Speciali della Marina degli Stati Uniti. L'obiettivo era quello di ridurre i tempi ed i costi per la progettazione e la costruzione dei sottomarini nucleari armati con i missili Polaris, coordinando nel contempo diverse migliaia di fornitori e di subappaltatori. È un metodo statistico di determinazione dei tempi delle attività di progetto (ma può essere applicato anche ai costi). Rispetto alla semplice stima a valore singolo, il

metodo presuppone la determinazione di valori di stima ottimale, probabile e pessimistica che risultano più adeguati a valutare tempi e costi di attività di progetto che presentano incertezza o complessità.

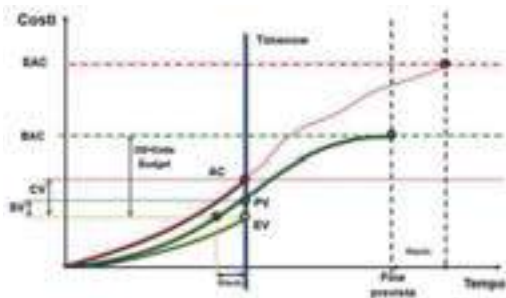
Il CPM è uno strumento di gestione progetti sviluppato nel 1957 dalla Catalytic Construction Company per la manutenzione degli impianti della Du Pont de Nemours. È un metodo per la determinazione della durata minima di un progetto individuando le attività critiche che lo caratterizzano (la sequenza delle attività critiche, dal punto d'inizio al punto di fine del progetto, determinano appunto il percorso critico). Nell'analisi del percorso critico risulta comoda una rappresentazione delle attività di progetto in forma grafica (diagramma reticolare o network diagram) dove vengono rappresentati i vincoli di precedenza fra le attività stesse (determinati preventivamente con la tecnica PDM).

La WBS (Work Breakdown Structure), che rappresenta la decomposizione del lavoro di un progetto nelle sue attività elementari controllabili assegnate ad un'unica persona (gruppo di persone) che ne detiene la responsabilità del completamento, nata alla fine degli anni '50 come supporto alla metodologia PERT, è stata introdotta ufficialmente nel 1969 dalla United States Department of Defense (DoD) come standard militare nella gestione dei progetti (MIL-STD-881). Le WBS sono usate nella pratica del project management e aiutano il project manager nell'organizzazione delle attività di cui è responsabile<sup>7</sup>.





Il cambio di passo nella gestione dei progetti è avvenuto intorno al 1961: fino a tale data la gestione progettuale veniva impostata sulla metodologia *top-down* cioè calando dall'alto le indicazioni sui tempi e costi delle attività. Successivamente, con l'introduzione delle metriche BCWS (Budget Cost Work Scheduled, valore pianificato), ACWP (Actual Cost Work Package, valore consuntivato) e BCWP (Budget Cost Work Package, consuntivo con i valori di budget) proprie della metodologia Earned Value è stata invertita la metodologia di gestione dei progetti passando all'analisi *botton-up*, cioè alla verifica dei dati delle singole attività per la gestione corretta dell'intero progetto. Il metodo dell'Earned Value rappresenta il valore, in termini di budget, del lavoro effettivamente svolto alla data di avanzamento, con riferimento ai dati



preventivi della baseline:

$EV(\text{attività } x) = \text{Budget}(\text{attività } x) \times \% \text{ di completamento attività.}$

Attraverso tale metodo è possibile intercettare immediatamente le variazioni del progetto nelle sue singole attività in termini sia di costo che di tempo.

Sul finire degli anni '60 un grande contributo al riconoscimento del project management come disciplina affermata su scala mondiale è stato dato da Russel D. Achibald. Membro onorario del Project Management Institute, fu tra i primi a sponsorizzare il metodo di Project Management su scala internazionale grazie alla sua pubblicazione *Network-Based Management Systems (PERT/CPM)* del 1967 ed alla sua comunità mondiale dedicata a migliorare la scienza del project management<sup>8</sup> ancora tutt'oggi attiva.

Negli stessi anni ('60-'70) viene introdotta e diffusa la struttura organizzativa a matrice che pone le sue basi nelle teorie dello Scientific Management di Taylor e dalle line-and-staff model di Favol. La teoria line-and-staff model introduce per la prima volta nella struttura verticistica di comando la presenza di componenti di staff trasversali come esperti per competenze specifiche. Partendo da questo concetto la struttura a matrice nasce come soluzione per riuscire a cogliere ogni aspetti positivi delle strutture funzionali







come le economie di scala e l'elevata professionalità delle persone sommandoli ad un'elevata flessibilità per adeguarsi alle mutevoli esigenze della struttura organizzativa e del mercato e la capacità di diffondere il know how tra le persone dell'organizzazione.

In questo modello organizzativo il business viene gestito dalle divisioni che prendono in prestito le risorse dalle varie funzioni. La struttura può essere definita a matrice forte, debole o equilibrata a seconda del potere del project manager rispetto alle direzioni dei reparti funzionali nella gestione delle risorse assegnate al progetto per il raggiungimento degli obiettivi.

Grazie agli strumenti su indicati, il Project Management, come conosciuto oggi, nasce con il progetto Apollo 11 nel 1969. Questa fu la missione spaziale che per prima portò gli uomini sulla Luna, gli statunitensi Neil Armstrong e Buzz Aldrin, il 20 luglio 1969 alle 20:18 UTC. L'Apollo 11 fu lanciato da un razzo vettore Saturn V dalla piattaforma di lancio 39A, parte del complesso di lancio 39 del Kennedy Space Center, il 16 luglio 1969, il 24 luglio gli astronauti rientrarono a bordo del modulo di comando Columbia sulla terra poco prima dell'alba (alle 16:51 UTC[9]) ammarando, nell'Oceano Pacifico<sup>9</sup>.

Tra gli anni '70 ed '80 l'importanza degli stakeholder viene rivalutata e la metodologia di Project Management viene estesa al mondo IT per l'implementazione delle soluzioni SW sia sui singoli PC che per i Database condivisi.

Il termine *stakeholder* definito per indicare, in modo generico, una persona od un gruppo che è coinvolto in un'iniziativa economica, che sia un'azienda o un progetto, fu elaborato per la prima volta nel 1963 al Research Institute dell'università di Stanford. Il primo libro sulla teoria degli stakeholder è *Strategic Management: A Stakeholder Approach* di Edward Freeman, che diede anche la prima definizione di stakeholder, come i soggetti senza il cui supporto l'impresa non è in grado di sopravvivere (traduzione letterale). Con il tempo prevale il "filone etico". Nel 1984, insieme a William M. Evan in *A stakeholder approach on modern corporation: the kantian capitalism*, si definiscono stakeholder tutti i soggetti che possono influenzare oppure che sono influenzati dall'impresa includendo anche l'accezione negativa del significato<sup>10</sup>.

Un ruolo fondamentale nel miglioramento e nella diffusione a livello globale delle tecniche di project management è stato svolto dalle associazioni di settore nate principalmente nei paesi anglosassoni. Nella seconda metà del secolo scorso iniziano ad essere fondate le prime associazioni specifiche sul tema ed ad essere diffuse le prime norme di applicabilità sul tema del project management.

Nel 1956 viene fondata la American Associa-

tion of Cast Engineers primi cultori della teoria del Project Management. Tale associazione nel 2006 ha rilasciato il Total Cost Management Framework.

**L'IPMA** (International Project Management Association) viene fondata nel 1965 con l'obiettivo di sviluppare le tematiche di Project Management soprattutto attraverso la definizione di standard di settore come l'IPMA Competence Baseline (ICB) o il Project Excellence Model (PEM).

**PMI** - Nel 1969 viene fondato da James R. Snyder, Erie Jenet, J. Gordon Davis, E.A. "Ned" Engman, Susan Gallagher il Project Management Institute, quale comunità i cui membri potessero scambiare e condividere le loro esperienze nell'ambito della gestione dei progetti (vedi sito PMI). All'interno del PMI nel 1981 viene creata una commissione di studiosi con il compito di generare uno standard per il project management che comprendesse anche l'etica professionale e di accreditamento. Tale lavoro ha portato nell'agosto del 1983 alla pubblicazione sulla rivista "Project Management Quarterly" dell'articolo "Ethics Standard and Accreditation".

Nel 1981 viene rilasciata la prima guida al PM PMBOK (Project Management Body of Knowledge) mentre gli esami di accreditamento al PM sono stati istituiti dal 6 ottobre del 1984 a Filadelfia. Ad oggi è stata pubblicata la 6° edizione della guida PMBOK.

Il PMBOK si è diffuso a livello globale a tal punto da essere considerato uno standard riconosciuto ed approvato da ANSI (American National Standards Institute) e dalla norma ISO 21500:2012.

**PRICE2** - Nel 1989 la Central Computer and Telecommunication Agency (CCTA) sviluppa un nuovo metodo per la gestione dei progetti IT relativi al Governo del Regno Unito "PRICE". Nel 1996 viene lanciato un nuovo modello "PRICE2" come metodo generico di project management adattabile a qualsiasi settore rendendolo in questa maniera uno standard internazionale.

Nell'ultimo decennio la disciplina del Project Management è stata armonizzata a livello internazionale grazie allo standard ISO 21500 "Guidance on project management" creato come guida per la gestione dei progetti utilizzabile da ogni tipo di organizzazione e per ogni tipo di progetto. L'ISO affronta il tema del project management per la prima volta nel 2011 creando il technical committee ISO/TC 258 Project, programme and portfolio management avviando il progetto della norma 21500. La norma viene pubblicata per la prima volta il 3 settembre 2012, l'edizione italiana invece verrà pubblicata come UNI ISO 21500 il 9 maggio del 2013.

Organizzazioni	Certificazioni	Testo di riferimento
PMI (Project Management Institute)	CAPM (Certified Associated in Project Management)	PMBOK (PM Body of Knowledge)
	PMP (Project Management Professional)	
IPMA (International Project Management Association)	Livello A, B, C, D	ICB (IPMA Competecec Baseline)
PRINCE2 (Project in Controlled Environment)	Foundation	Mamuale PRINCE2
	Practitioner	

La norma è suddivisa nei seguenti capitoli:

1. Scopo
2. Termini e definizioni
3. Concetti di Project Management
4. Processi di Project Management.

È possibile affermare che ad oggi le principali scuole di Project Management esistenti su scala globale sono:

In conclusione, abbiamo visto che nel corso della storia le tecniche di project management, sviluppate inizialmente in modo inconscio e nell'ultimo secolo in modo sempre più strutturato, rappresentano un elemento chiave per l'organizzazione del lavoro allo scopo di raggiungere un obiettivo prefissato con la massima probabilità di successo.

Oggi giorno le tecniche di Project Management vengono applicate in modo diffuso in diversi settori come ad esempio:

- o Costruzioni
- o Difesa

- o Industria
- o SW

poiché attraverso l'utilizzo di competenze allargate apportate da ciascun elemento del team, di un'accurata pianificazione in termini di tempi, costi e qualità, dello studio degli eventi inattesi positivi (da massimizzare) e negativi (da eliminare o almeno ridurre), dell'interazione con tutte le parti coinvolte, si è ottenuto un netto miglioramento nel raggiungere gli obiettivi prefissati. Come si è potuto leggere in queste pagine, le tecniche di Project Management non hanno mai smesso di evolversi, nel tentativo di adattarsi costantemente alle mutevoli tecnologiche ed esigenze sociali, al fine di ottenere il miglior risultato possibile con le limitate risorse a disposizione. Sicuramente continueranno ad essere implementate nuove soluzioni di project management per cogliere in modo sempre più efficiente le sfide future.

#### Note

1. [https://it.wikipedia.org/wiki/First\\_Transcontinenta\\_Railroad#/media/File:GoldenSpikev3.jpg](https://it.wikipedia.org/wiki/First_Transcontinenta_Railroad#/media/File:GoldenSpikev3.jpg)
2. [https://it.wikipedia.org/wiki/Frederick\\_Taylor](https://it.wikipedia.org/wiki/Frederick_Taylor)
3. [https://it.wikipedia.org/wiki/Henry\\_Gantt](https://it.wikipedia.org/wiki/Henry_Gantt)
4. Articolo Henry Fayol: un grande capitano d'industria al servizio del management di Giuseppe Pompella Ministero dell'Interno - Dipartimento per le Politiche del Personale e per le Risorse Strumentali e Finanziarie Ufficio VII - Innovazione Organizzativa - Roma
5. [https://www.francoangeli.it/ricerca/Scheda\\_libro.aspx?ID=5196&Tipo=Libro](https://www.francoangeli.it/ricerca/Scheda_libro.aspx?ID=5196&Tipo=Libro)
6. [https://it.wikipedia.org/wiki/Progetto\\_Manhattan](https://it.wikipedia.org/wiki/Progetto_Manhattan)
7. <https://it.wikipedia.org/wiki/PERT/CPM> - [https://en.wikipedia.org/wiki/Work\\_breakdown\\_structure](https://en.wikipedia.org/wiki/Work_breakdown_structure)
8. <http://russarchibald.com/>
9. [https://it.wikipedia.org/wiki/Apollo\\_11](https://it.wikipedia.org/wiki/Apollo_11)  
<http://www.tenstep.it/Lettere-particolari/2013-12-II-Meglio-del-Project-Management.htm>
10. <https://it.wikipedia.org/wiki/Stakeholder>









*Quaderno*

# C.T.M. vs C.T.U.

**Consulenza tecnica in mediazione e  
consulenza tecnica d'Ufficio a confronto**

*a cura di*  
Ing. P. Raimondo  
Ing. G. Vitali

*Commissione*  
Mediazione e  
Arbitrato

*In collaborazione con la*  
Commissione C.T.U.

*visto da*  
Ing. F. Sciarra  
Ing. R. Villa





Il presente articolo intende proporsi come un utile riferimento per quanti vengano chiamati a svolgere il ruolo di ausiliari tecnici in una procedura di mediazione civile o commerciale.

### 1) Premesse

L'art. 60 della Legge 18 giugno 2009, n. 69, *Disposizioni per lo sviluppo economico, la semplificazione, la competitività nonché in materia di processo civile*, ha introdotto in Italia la mediazione e conciliazione delle controversie civili e commerciali delegando il governo a operare in proposito attraverso decreti legislativi.

Il D.Lgs. 4 marzo 2010, n. 28, Attuazione dell'articolo 60 della legge 18 giugno 2009, n. 69, in materia di mediazione finalizzata alla conciliazione delle controversie civili e commerciali, ha disciplinato la materia.

Il predetto decreto legislativo è entrato in vigore il 21/03/2010 con l'eccezione delle norme sulla mediazione obbligatoria, che sono state oggetto di numerose contestazioni ed anche della sentenza n. 272 del 6 dicembre 2012, della Corte Costituzionale, che ha dichiarato l'illegittimità costituzionale della disciplina relativa alla così detta mediazione obbligatoria.

Tralasciando gli elementi di dettaglio della predetta vertenza, che esulano dall'argomento del presente articolo, si riferisce che con il D.L. 21 giugno 2013, n. 69, *Disposizioni urgenti per il rilancio dell'economia*, convertito con modifiche nella Legge 9 agosto 2013, n. 98, è stata reintrodotta l'obbligatorietà della mediazione con alcune modifiche rispetto all'originaria disciplina.

L'art. 5, comma 1-bis del predetto D.Lgs. 4 marzo 2010, n. 28 e successive modifiche, individua le controversie per cui è obbligatoria la mediazione e cioè: condominio, diritti reali, divisione, successioni ereditarie, patti di famiglia, locazione, comodato, affitto di aziende, risarcimento del danno derivante da responsabilità medica e sanitaria e da diffamazione con il mezzo della stampa o con altro mezzo di pubblicità, contratti assicurativi, bancari e finanziari.

Per la definizione di tali controversie può essere necessaria la redazione di una consulenza tecnica in mediazione (C.T.M.).

Appare quindi opportuno svolgere un confronto tra la C.T.M. e la più nota consulenza tecnica d'Ufficio (C.T.U.) in sede civile e penale al fine di evidenziarne i punti di contatto e le differenze.

Ovviamente, il presente lavoro non intende avere carattere di esaustività dell'argomento (per cui sarebbero necessari ben altri approfondimenti), ma, più semplicemente, fornire un quadro di insieme della materia.

### 2) Nomina, convocazione e conferimento dell'incarico

*L'art. 61 del c.p.c. prevede che quando è necessario, il giudice può farsi assistere, per il compimento di singoli atti o per tutto il processo, da uno o più consulenti di particolare competenza tecnica. La scelta dei consulenti tecnici deve essere normalmente fatta tra le persone iscritte in albi speciali formati a norma delle disposizioni di attuazione al presente Codice.*

*L'art. 191 del c.p.c. prevede che nei casi previsti*



*dagli articoli 61 e seguenti il giudice istruttore, con ordinanza ai sensi dell'articolo 183, settimo comma, o con altra successiva ordinanza, nomina un consulente, formula i quesiti e fissa l'udienza nella quale il consulente deve comparire. Possono essere nominati più consulenti soltanto in caso di grave necessità o quando la legge espressamente lo dispone.*

*Similmente l'art. 224 del c.p.p. stabilisce che il giudice dispone anche di ufficio la perizia con ordinanza motivata, contenente la nomina del perito, la sommaria enunciazione dell'oggetto delle indagini, l'indicazione del giorno, dell'ora e del luogo fissati per la comparizione del perito. Il giudice dispone la citazione del perito e dà gli opportuni provvedimenti per la comparizione delle persone sottoposte all'esame del perito. Adotta tutti gli altri provvedimenti che si rendono necessari per l'esecuzione delle operazioni peritali.*

Pertanto, il C.T.U. (consulente tecnico d'Ufficio) nei procedimenti civili e penali è un consulente di fiducia del Giudice, espressamente previsto rispettivamente dal c.p.c. e dal c.p.p..

Per quanto riguarda la C.T.M., l'art. 8, *procedimento*, comma 1, del D. Lgs. 4 marzo 2010, n. 28, prevede che *nelle controversie che richiedono specifiche competenze tecniche, l'organismo può nominare uno o più mediatori ausiliari*. Nello stesso solco si pone il quarto comma del predetto articolo dove è previsto che *quando non può procedere ai sensi del comma 1, ultimo periodo, il mediatore può avvalersi di esperti iscritti negli albi dei consulenti presso i tribunali*. Pertanto, anche il mediatore ha potere di nomina del C.T.M., ma stante il fine precipuo dell'istituto della mediazione, che mira al raggiungimento di un accordo tra le parti più che ad un accertamento della verità fine a sé stesso, nella prassi il mediatore si limita a raccogliere ed eventualmente indirizzare la volontà delle parti verso la C.T.M..

Sono quindi le parti, che nella prassi, di comune accordo, decidono di conferire incarico ad un consulente di loro fiducia e/o indicato dall'organismo di mediazione.

Nel caso della C.T.U., di norma con la stessa ordinanza di nomina, il Giudice dispone che la

Cancelleria provveda a comunicare al consulente designato la nomina e la data dell'udienza a cui dovrà comparire (attualmente la comunicazione avviene attraverso PEC mentre un tempo era demandata all'Ufficiale giudiziario); in sporadici casi il Giudice può onorare della predetta comunicazione la parte interessata alla C.T.U. (in questo caso la comunicazione può avvenire a mezzo PEC o a mezzo Ufficiale giudiziario).

Nel caso della C.T.M. è la segreteria dell'Organismo di mediazione che comunica al consulente, a mezzo PEC, la nomina e la data in cui verrà conferito l'incarico.

Di norma, prima del conferimento dell'incarico di C.T.M., l'Organismo di mediazione (nella figura del Mediatore o della segreteria) e/o le parti si accertano in maniera informale della disponibilità del consulente prescelto ad espere l'incarico.

L'art. 193 del c.p.c. prevede che *all'udienza di comparizione il giudice istruttore ricorda al consulente l'importanza delle funzioni che è chiamato ad adempiere, e ne riceve il giuramento di bene e fedelmente adempiere le funzioni affidategli al solo scopo di fare conoscere al giudice la verità*.

Similmente il comma 1 dell'art. 226 del c.p.p. prevede che *il giudice, accertate le generalità del perito, gli chiede se si trova in una delle condizioni previste dagli articoli 222 e 223, lo avverte degli obblighi e delle responsabilità previste dalla legge penale e lo invita a rendere la seguente dichiarazione: «consapevole della responsabilità morale e giuridica che assumo nello svolgimento dell'incarico, mi impegno ad adempiere al mio ufficio senza altro scopo che quello di far conoscere la verità e a mantenere il segreto su tutte le operazioni peritali»*.

Pertanto, nel caso della C.T.U. è il Giudice che, anche alla luce delle argomentazioni delle parti, formula al C.T.U. i quesiti a cui lo stesso dovrà rispondere.

Nel caso dei procedimenti civili i quesiti dovrebbero essere formulati già nell'ordinanza di nomina, ma non di rado vengono formulati o riformulati nell'udienza di nomina anche alla luce dei suggerimenti forniti dal consulente designato; invece, nei procedimenti penali, di norma, l'ordinanza di nomina contiene solo la sommaria



enunciazione dell'oggetto delle indagini mentre i quesiti vengono formulati direttamente al conferimento dell'incarico anche alla luce dei suggerimenti forniti dal consulente designato.

Nella C.T.M. i quesiti vengono usualmente stabiliti al momento della nomina del consulente incaricato, ma possono essere modificati e/o integrati al momento dell'effettivo conferimento dell'incarico.

Nel caso dei procedimenti civili, i quesiti formulati dal Magistrato non possono esulare dalle richieste formulate dalle parti nei propri scritti difensivi, mentre nei procedimenti penali non possono esulare dall'oggetto delle indagini.

Nei procedimenti di mediazione, invece, vi è maggiore libertà e le parti possono richiedere al consulente anche l'accertamento di aspetti non strettamente attinenti i motivi della disputa; inoltre le parti possono stabilire che, qualora il procedimento di mediazione si concluda senza l'accordo, la C.T.M. possa o meno essere utilizzata nell'eventuale successivo procedimento giurisdizionale.

I commi 1 e 2 dell'art. 63 del c.p.c. stabiliscono che il consulente scelto tra gli iscritti in un albo ha l'obbligo di prestare il suo ufficio, tranne che il giudice riconosca che ricorre un giusto motivo di astensione. Il consulente può essere ricusato dalle parti per i motivi indicati nell'articolo 51.

L'art. 51 c.p.c. prevede che il giudice (nel nostro caso il C.T.U.) ha l'obbligo di astenersi:

- 1) se ha interesse nella causa o in altra vertente su identica questione di diritto;
- 2) se egli stesso o la moglie è parente fino al quarto grado [o legato da vincoli di affiliazione], o è convivente o commensale abituale di una delle parti o di alcuno dei difensori;
- 3) se egli stesso o la moglie ha causa pendente o grave inimicizia o rapporti di credito o debito con una delle parti o alcuno dei suoi difensori;
- 4) se ha dato consiglio o prestato patrocinio nella causa, o ha deposto in essa come testimone, oppure ne ha conosciuto come magistrato in altro grado del processo o come arbitro o vi ha prestato assistenza come consulente tecnico;
- 5) se è tutore, curatore, procuratore, agente o datore di lavoro di una delle parti; se, inoltre, è amministratore o gerente di un ente, di un'asso-

ciazione anche non riconosciuta, di un comitato, di una società o stabilimento che ha interesse nella causa.

In ogni altro caso in cui esistono gravi ragioni di convenienza, il giudice può richiedere al capo dell'ufficio l'autorizzazione ad astenersi; quando l'astensione riguarda il capo dell'ufficio, l'autorizzazione è chiesta al capo dell'ufficio superiore.

Similmente i commi 1 e 2 dell'art. 223 del c.p.p. stabiliscono che quando esiste un motivo di astensione, il perito ha l'obbligo di dichiararlo. Il perito può essere ricusato dalle parti nei casi previsti dall'articolo 36 a eccezione di quello previsto dal comma 1 lettera h) del medesimo articolo.

Il comma 1 dell'art. 36 del c.p.p. stabilisce che il giudice ha l'obbligo di astenersi:

- a) se ha interesse nel procedimento o se alcuna delle parti private o un difensore è debitore o creditore di lui, del coniuge o dei figli;
  - b) se è tutore, curatore, procuratore o datore di lavoro di una delle parti private ovvero se il difensore, procuratore o curatore di una di dette parti è prossimo congiunto [307 c.p.] di lui o del coniuge;
  - c) se ha dato consigli o manifestato il suo parere sull'oggetto del procedimento fuori dell'esercizio delle funzioni giudiziarie;
  - d) se vi è inimicizia grave fra lui o un suo prossimo congiunto e una delle parti private;
  - e) se alcuno dei prossimi congiunti di lui o del coniuge è offeso o danneggiato dal reato o parte privata;
  - f) se un prossimo congiunto di lui o del coniuge svolge o ha svolto funzioni di pubblico ministero;
  - g) se si trova in taluna delle situazioni di incompatibilità stabilite dagli articoli 34 e 35 e dalle leggi di ordinamento giudiziario;
  - h) se esistono altre gravi ragioni di convenienza.
- Ne deriva che il C.T.U. nominato ha l'obbligo di porre all'attenzione del Magistrato ogni possibile fatto e/o circostanza che possa rendere anche solo inopportuno l'affidamento dell'incarico. Per quanto riguarda la C.T.M., l'art. 9, dovere di riservatezza, comma 1, del D. Lgs. 4 marzo 2010, n. 28, prevede che chiunque presta la propria opera o il proprio servizio nell'organismo o comunque nell'ambito del procedimento di me-







*di azione è tenuto all'obbligo di riservatezza rispetto alle dichiarazioni rese e alle informazioni acquisite durante il procedimento medesimo.*

Di norma, in sede di conferimento dell'incarico il C.T.M. sottoscrive una dichiarazione di indipendenza, imparzialità e neutralità, nonché di riservatezza, che viene tenuta agli atti della procedura di mediazione; potenziali motivi di astensione vanno portati all'attenzione del mediatore e delle parti, lasciando loro la facoltà di confermare o revocare l'incarico.

Il comma 1 dell'art. 63 del c.p.c. stabilisce che *il consulente scelto tra gli iscritti in un albo ha l'obbligo di prestare il suo ufficio, tranne che il giudice riconosca che ricorre un giusto motivo di astensione.*

Similmente il comma 3 dell'art. 221 del c.p.p. stabilisce che *il perito ha l'obbligo di prestare il suo ufficio, salvo che ricorra uno dei motivi di astensione previsti dall'articolo 36.*

Fermo restando che contribuire all'accertamento della verità è un dovere, a cui il consulente nominato può sottrarsi solo se autorizzato dal Magistrato, il C.T.U. può richiedere di astenersi



per fondati motivi personali quali problemi di salute e/o precedenti impegni di lavoro.

Invece, il C.T.M. è libero di accettare o rifiutare l'incarico a prescindere da eventuali impedimenti.

### 3) Svolgimento dell'incarico

Per quanto concerne la C.T.U., il comma 3 dell'art. 195 del c.p.c. stabilisce che *la relazione deve essere trasmessa dal consulente alle parti costituite nel termine stabilito dal giudice con ordinanza resa all'udienza di cui all'articolo 193. Con la medesima ordinanza il giudice fissa il termine entro il quale le parti devono trasmettere al consulente le proprie osservazioni sulla relazio-*

*ne e il termine, anteriore alla successiva udienza, entro il quale il consulente deve depositare in cancelleria la relazione, le osservazioni delle parti e una sintetica valutazione sulle stesse.*

Nella pratica la relazione trasmessa direttamente alle parti viene definita relazione preliminare del C.T.U. o bozza di C.T.U..

Spesso il C.T.U. non si limita a depositare agli atti una sintetica valutazione delle osservazioni delle parti, ma rivede ed integra la propria relazione preliminare (che in questo caso viene definita relazione definitiva o più semplicemente C.T.U.) alla luce delle osservazioni delle parti



anche al fine di facilitare la leggibilità degli elaborati peritali.

Per la C.T.M. non esistono prescrizioni normative. Similmente a quanto previsto per la C.T.U., le parti richiedono il triplo termine quando intendono farsi assistere da propri consulenti tecnici altrimenti optano frequentemente perché il C.T.M. rediga direttamente l'elaborato peritale definitivo.

Nella redazione della C.T.U. possono essere utilizzati solo i documenti prodotti in giudizio dalle parti, e ove autorizzato dal Magistrato, quanto acquisibile presso i pubblici uffici.

Il C.T.U. può anche acquisire la documentazione fornita di comune accordo dalle parti in giudizio. Similmente, nel corso della C.T.M. possono essere utilizzati tutti i documenti messi a disposizione dalle parti e quelli che le parti autorizzano il C.T.M. ad acquisire.

Nella C.T.M. le parti possono anche dispensare il consulente dall'acquisire documentazione; ad esempio nella stima degli immobili le parti possono dispensare il C.T.M. dall'effettuare le verifiche di conformità urbanistica e catastale dandole per già acclerate.

Lo svolgimento dell'incarico di C.T.U. e di C.T.M. è sostanzialmente equivalente.

Infatti, sia il C.T.U. che il C.T.M. convocano gli incontri e fissano le date dei sopralluoghi, redigono di norma verbale degli incontri e dei sopralluoghi, accedono, ove necessario, ai pubblici uffici e/o presso enti terzi (ad esempio istituti di credito, aerofototeche, etc.), trasmettono la relazione preliminare ai legali delle parti a mezzo posta elettronica certificata.

Seppure non strettamente necessario, è buona norma di cortesia trasmettere la relazione preliminare anche ai consulenti tecnici di parte e, ove lo desiderino, alle parti stesse.

Nella C.T.U. la relazione definitiva viene depositata in Tribunale a mezzo posta elettronica certificata secondo le modalità previste dal processo civile telematico (si ritiene esuli dagli intenti di questo lavoro illustrare le procedure informatiche per la preparazione e l'invio telematico degli elaborati peritali); non è previsto l'invio della relazione definitiva alle parti, che potranno scaricarla attraverso i propri legali dal portale del processo civile telematico.

Nella C.T.M. la relazione definitiva viene trasmessa a mezzo posta elettronica certificata all'organismo di mediazione, al mediatore ed ai legali delle parti. Anche in questo caso è buona norma di cortesia trasmettere la relazione preliminare anche ai consulenti tecnici di parte e, ove lo desiderino, alle parti stesse.

**4) Trattamento dati personali**

Con deliberazione n. 46 del 26 giugno 2008, il garante per la protezione dei dati personali (ga-



rante della privacy), ha emanato le linee guida in materia di trattamento di dati personali da parte dei consulenti tecnici e dei periti ausiliari del giudice e del pubblico ministero.

Appare significativo riportare il punto 4, *conservazione e cancellazione dei dati*, delle predette linee guida che prevede che in riferimento ai trattamenti di dati svolti per ragioni di giustizia non è applicabile la disposizione del Codice (art. 16) relativa alla cessazione del trattamento di dati personali, evenienza che, nel caso del trattamento effettuato dal consulente e dal perito, di regola coincide con l'esaurimento dell'incarico. Trova, peraltro, applicazione anche ai trattamenti di dati personali effettuati per ragioni di giustizia il dettato dell'art. 11, comma 1, lett. e), del Codice il quale prevede che i dati non possono essere conservati per un periodo di tempo superiore a quello necessario al perseguimento degli scopi per i quali essi sono stati raccolti e trattati. Ne consegue che, espletato l'incarico e terminato quindi il connesso trattamento delle informazioni personali, l'ausiliario deve consegnare per il deposito agli atti del procedimento non solo la propria relazione, ma anche la documentazione consegnatagli dal magistrato e quella ulteriore acquisita nel corso dell'attività svolta, salvo quanto eventualmente stabilito da puntuali disposizioni normative o da specifiche autorizzazioni dell'auto-

rità giudiziaria che dispongano legittimamente ed espressamente in senso contrario. Ove non ricorrano tali ultime due ipotesi, il consulente e il perito non possono quindi conservare, in originale o in copia, in formato elettronico o su supporto cartaceo, informazioni personali acquisite nel corso dell'incarico concernenti i soggetti, persone fisiche o giuridiche, nei cui confronti hanno svolto accertamenti. Analogamente, la documentazione acquisita nel corso delle operazioni peritali deve essere restituita integralmente al magistrato in caso di revoca o di rinuncia all'incarico da parte dell'ausiliario. Qualora sia prevista una conservazione per adempiere a uno specifico obbligo normativo (ad esempio, in materia fiscale o contabile), possono essere custoditi i soli dati personali effettivamente necessari per adempiere tale obbligo. Eventuali, ulteriori informazioni devono essere quindi cancellate, oppure trasformate in forma anonima anche per finalità scientifiche o statistiche, tale da non poter essere comunque riferita a soggetti identificati o identificabili, anche indirettamente, mediante riferimento a qualsiasi altra informazione (art. 4, comma 1, lett. b), del Codice). Tutto ciò non pregiudica l'espletamento di eventuali ulteriori attività dell'ausiliare, conseguenti a richieste di chiarimenti o di supplementi di indagine, che il consulente e il perito possono soddisfare



acquisendo dal fascicolo processuale, in conformità alle regole poste dai codici di rito, la documentazione necessaria per fornire i nuovi riscontri.

Tali prescrizioni sono applicabili per similitudine anche al C.T.M..

Per completezza si riferisce che dal 25/05/2018 è entrato in vigore il Regolamento UE 2016/679 del Parlamento Europeo, concernente il trattamento e la tutela dei dati personali noto come GDPR (General Data Protection Regulation), a cui ha fatto seguito il D.Lgs. 10 agosto 2018 n. 101, *Disposizioni per l'adeguamento della normativa nazionale alle disposizioni del regolamento (UE) 2016/679 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 27 aprile 2016, relativo alla protezione delle persone fisiche con riguardo al trattamento dei dati personali, nonché alla libera circolazione di tali dati e che abroga la direttiva 95/46/CE (regolamento generale sulla protezione dei dati)*.

La nuova normativa non ha introdotto ulteriori prescrizioni specifiche per i C.T.U. ed i C.T.M..

#### **5) Corrispettivo economico dell'incarico**

Normalmente in sede di affidamento del mandato peritale il Giudice concede al C.T.U. un acconto per far fronte alle spese correnti.

Nel corso delle operazioni peritali, il C.T.U. può richiedere l'integrazione del fondo spese qualora siano necessari accertamenti specifici particolarmente onerosi quali ad esempio saggi, prove di laboratorio, etc..

Terminata la propria attività, il C.T.U. presenta al Giudice istanza di liquidazione secondo i dettati del D.P.R. 30 Maggio 2002 n. 115, *Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia di spese di giustizia*, e alle tabelle del D. Min. Giustizia 30 Maggio 2002, *Adeguamento dei compensi spettanti ai periti, consulenti tecnici, interpreti e traduttori per le operazioni eseguite su disposizione dell'autorità giudiziaria in materia civile e penale*.

Vista l'Istanza del C.T.U., il Magistrato emette Decreto di Liquidazione in favore del consulente; tale decreto è impugnabile entro 30 giorni dalla comunicazione da parte della cancelleria alle parti ed al C.T.U.; se non viene impugnato, il Decreto di Liquidazione diventa un titolo esecutivo.

Per quanto riguarda la C.T.M., l'art. 8, comma 4, del D. Lgs. 4 marzo 2010, n. 28, prevede tra l'altro che *il regolamento di procedura dell'organismo deve prevedere le modalità di calcolo e liquidazione dei compensi spettanti agli esperti*. Nella prassi, trattandosi di norma di un incarico affidato con l'accordo delle parti e non d'Ufficio dal Mediatore, è buona norma che le parti concordino con il C.T.U. un compenso ed un rimborso spese forfettari al momento del confe-

ramento dell'incarico.

Non di rado i compensi spettanti al C.T.M. vengono determinati con gli stessi criteri previsti per i C.T.U. a percentuale in base al valore della causa; quando non è noto a priori il valore della vertenza (si pensi ad esempio alla stima di beni immobili) è prassi che prima del conferimento dell'incarico e/o in sede di conferimento dello stesso, il C.T.M. svolga una valutazione di massima del valore della vertenza, sulla quale concordare i propri compensi, con l'ausilio delle parti, dei loro legali e, se nominati, dei loro C.T.P.. È opportuno che gli emolumenti concordati siano corrisposti al C.T.M. prima della consegna dell'elaborato peritale al fine di evitare, in caso di mancato saldo, costose (e spesso problematiche) azioni di recupero crediti.

#### **6) Quadro riepilogativo**

Al fine di una migliore comprensione appare opportuno fornire un quadro riepilogativo dell'argomento trattato:

- il C.T.U. è un consulente di fiducia del Giudice e nominato dallo stesso;
- il C.T.M. è nominato dal Mediatore, ma di regola quest'ultimo raccoglie e indirizza le volontà delle parti che, di fatto, conferiscono l'incarico;
- il C.T.U. riceve la comunicazione della nomina dalla Cancelleria del Tribunale;
- il C.T.M. la riceve dalla Segreteria dell'Organismo di Mediazione;
- nella C.T.U. il Giudice formula i quesiti, cui il Consulente dovrà rispondere;
- nella C.T.M. il Mediatore formula i quesiti che – contrariamente a quanto avviene nella giustizia ordinaria – possono anche esulare dagli aspetti non strettamente attinenti ai motivi della disputa;
- il C.T.U. – salvo giusti motivi di astensione riconosciuti dal Giudice – ha l'obbligo di svolgere l'incarico affidatogli;
- il C.T.M. è libero di accettare o rifiutare l'incarico, indipendentemente da condizioni o impedimenti;
- il C.T.U. ed il C.T.M. possono utilizzare la documentazione depositata dalle parti, quella che il Giudice o il Mediatore li hanno autorizzati ad acquisire e quella che le parti decidono di fornire congiuntamente nel corso delle operazioni peritali;
- per la presentazione dell'elaborato peritale del C.T.U., il Giudice fissa un termine per la relazione preliminare, per i commenti e/o osservazioni dei Consulenti di parte e per il deposito della relazione finale;
- per il C.T.M. non esistono prescrizioni normative, ma generalmente le parti optano per la relazione stilata direttamente nella sua forma definitiva;



- il C.T.U. deposita, mediante PEC, la relazione definitiva presso il Tribunale, ma non alle parti (che potranno prenderne visione attraverso i loro legali);
- il C.T.M. trasmette, sempre mediante PEC, la relazione definitiva all'Organismo di Mediazione, al Mediatore e ai legali delle parti (e, in via informale, anche ai CTP e alle parti);
- relativamente ai compensi, il Giudice concede di norma un acconto al C.T.U. per le spese correnti, salvo conguaglio finale, attraverso un apposito Decreto di Liquidazione;
- il compenso e il rimborso al C.T.M. sono di norma concordati con le parti, al momento del conferimento dell'incarico.

#### **7) Considerazioni finali**

In conclusione si può riferire che se da un lato

l'introduzione dell'istituto giuridico della mediazione ha ridotto il numero delle vertenze che giungono nelle aule dei Tribunali, riducendo quindi le possibilità lavorative per i C.T.U., dall'altro ha introdotto la figura del C.T.M., ampliando i campi di impiego dei consulenti tecnici, che operano nel campo del contenzioso.

Trattandosi di un istituto recente e per giunta poco o nulla normato, la C.T.M. è ancora poco conosciuta sia dal grande pubblico, sia dagli stessi addetti ai lavori e quindi non ancora utilizzata al pieno delle sue possibilità.

Si ritiene che nei prossimi anni il ricorso alla C.T.M. si diffonderà sempre di più, contribuendo in modo significativo ad incrementare il numero delle dispute che trovano una soluzione stragiudiziale soddisfacente.





*a cura di*  
Ing. P. Allievi  
Ing. A. De Blasiis  
Ing. A. Di Pietro  
Ing. M. Sepielli  
Ing. E. Vocaturo

*con la collaborazione  
storico-ingegneristica*  
Prof. Ing. A. Mathis

*visto da*  
Ing. A. Taglioni





# **TECNOLOGIE NUCLEARI INNOVATIVE: I REATTORI SMR PROSPETTIVE DI UTILIZZO**



### 1 – Abstract

Il forte impatto ambientale in termini di immissione diretta in atmosfera di inquinanti e di CO<sub>2</sub> delle diverse tipologie di idrocarburi ancora largamente usati a livello mondiale per la produzione di energia imporrà, in linea con quanto il protocollo di Kyoto e gli accordi di Parigi chiedono, l'adozione di tutte quelle forme di energia in grado di minimizzare le emergenze provocate dall'esposizione a tali agenti tossici.

Lo sviluppo di reattori nucleari sicuri e sostenibili che si possono integrare perfettamente in una rete elettrica nazionale anche fortemente distribuita, assicurando la costanza di produzione di energia elettrica nelle 24 ore, potrebbe rappresentare un valido contributo a questa richiesta e contribuire al piano di decarbonizzazione incentivato a livello mondiale.

Per tali ragioni la Commissione Ricerca e Reactori Innovativi, costituita nell'Area Nucleare dell'Ordine degli Ingegneri di Roma (unica in tutto l'Ordine dell'Italia) ha effettuato recentemente un seminario in collaborazione con l'E-NEA avente come tema: Tecnologie Nucleari innovative: i Reactori SMR, Prospettive ed Utilizzo. Scopo dell'incontro è stato quello di mettere in evidenza l'evoluzione storica dei reattori nucleari e gli studi effettuati dopo l'incidente di Chernobyl per realizzare reattori intrinsecamente sicuri basati su fenomeni fisici naturali che potessero portare all'autospegnimento, qualora si fosse verificato un improvviso aumento di una grandezza fisica fondamentale quali la temperatura, la pressione o un repentino aumento di potenza.

Lo sviluppo degli studi eseguiti su tali tipi di reattori, caratterizzati da una potenza più contenuta rispetto a quelli di prima generazione (si passa da 1.200 MW a 50-300 MW), che si sono

rivelati molto costosi e con tempi non prevedibili di realizzazione, si basa sui requisiti di funzionamento e di sicurezza molto semplici, suggeriti dall'esperienza di esercizio di circa 1600 anni-reattore nel mondo e delle esperienze degli incidenti occorsi in campo nucleare (Chernobyl, Three Miles Island, Fukushima).

Oltre ai nuovi requisiti di sicurezza, questi reattori tengono conto in fase progettuale del possibile riutilizzo del combustibile esausto permettendo così una consistente riduzione dei rifiuti radioattivi.

L'articolo descrive i sistemi SMR e traccia nel finale la loro utilità nell'apporto continuo di energia elettrica nelle ore notturne in territorio italiano.

In una fase storica precedente l'economia di scala l'industria nucleare ha prediletto i reattori e gli impianti di grande scala, recentemente, invece, hanno preso sempre più importanza i reattori di piccola-media taglia di tipo modulare (30 – 300 MWe). Questi reattori hanno il pregio di essere più flessibili a livello di installazione ed impiego, si adattano persino alle reti elettriche non performanti e si prestano anche ad usi non elettrici.

Hanno ridotti costi di costruzione che può avvenire, infatti, completamente in fabbrica, assicurando grande semplicità di gestione (chiavi in mano) e garantiscono alta deterrenza alla proliferazione per il fatto che la sostituzione del combustibile può avvenire dai 5 ai 15 anni circa. Dal punto di vista della safety, il disegno SMR implementa al massimo i concetti di sicurezza passiva/intrinseca permettendo al reattore di spegnersi e refrigerarsi senza intervento diretto dell'operatore in caso (remoto) di incidente, al punto che questi sistemi non prevedono l'esistenza di una Emergency Planning Zone (EPZ). I reattori SMR, che furono invero già realizzati



agli inizi dell'era del nucleare civile, oggi rappresentano il ponte tecnologico fra la III e la IV generazione di reattori, e esistono almeno un centinaio di prototipi in via di realizzazione nel mondo. Nel corso del seminario verranno presentati i più promettenti, insieme con le storie Italiane di progettazione e sviluppo di tre reattori SMR, il MARS, IRIS e ALFRED.

## 2 – Introduzione

L'area Tematica Nucleare, istituita presso l'Ordine degli Ingegneri della provincia di Roma ha il compito di fornire un quadro il più possibile esauriente sullo stato dell'arte dell'applicazione dell'Energia Nucleare e di fornire un valido supporto sia tecnico che normativo per gli ingegneri operanti o interessati in questo settore.

Per perseguire detto obiettivo nell'ambito dell'Area Nucleare sono state create tre commissioni che hanno il compito di sviluppare i principali temi relative alle attività del Nucleare.

La commissione Gestione Impianti Nucleari, che affronta argomenti relativi al Decommissioning e alla scelta di un sito per la realizzazione del deposito nucleare nazionale per i rifiuti radioattivi.

La commissione Radioprotezione ed Emergenze, che si occupa delle problematiche relative alla protezione sanitaria dovuta all'utilizzo di materie e sorgenti radioattive e alla predisposizione dei piani di emergenza che possano tutelare la popolazione nell'eventualità del verificarsi di un evento calamitoso.

La commissione Ricerca e Reattori Innovativi, che ha il compito di promuovere le iniziative necessarie alla pubblicizzazione dello stato dell'arte delle seguenti tematiche:

1. Reattori di ricerca con illustrazione del funzionamento e del loro utilizzo per lo studio

degli effetti dell'irraggiamento sui materiali, per la caratterizzazione e diagnostica di processi industriali e per la produzione di radio-farmaci per applicazioni in ambito sanitario;

2. Reattori di potenza di 3° e 4° generazione illustrandone le caratteristiche, i requisiti ed i criteri di progettazione;
3. Stato dell'arte della ricerca sulla fusione nucleare.

Il presente articolo, redatto dalla Commissione Ricerca e Reattori Innovativi, mette in evidenza l'evoluzione storica della programmazione energetica italiana ed i primi studi effettuati dopo l'incidente di Chernobyl che prendevano a riferimento l'opportunità di realizzare reattori intrinsecamente sicuri mediante fenomeni fisici naturali che possano portare all'autospegnimento, qualora si fosse verificato un improvviso aumento di una grandezza fisica fondamentale quali la temperatura, la pressione o un repentino aumento di potenza.

A seguire verrà illustrato il possibile sviluppo di reattori a media e bassa potenza (SMR) intrinsecamente sicuri, la cui realizzazione risulta economicamente più conveniente e più facilmente ubicabile nel territorio.

## 3 - Storia e prospettive degli SMR

### 3.1 Definizioni

Si tratta dei reattori di "piccola" potenza (cioè con potenze elettriche non superiori a 300 MWe). Questa classe di reattori sta destando un crescente interesse: essi infatti sono adatti ad essere inseriti in reti elettriche di limitate dimensioni, o al servizio di insediamenti isolati.





La sigla SMR può tuttavia essere interpretata in due modi: Small Medium Reactor (nel qual caso si possono considerare tali anche reattori da 700 MWe), oppure, oggi più comunemente, Small Modular Reactor. La costruzione modulare permette di ottenere anche centrali di alta potenza, ma in modo graduale, in relazione alla crescita della domanda: l'economia di scala del grande impianto viene sostituita dalla fabbricazione in serie ed in officina dei piccoli impianti, in tempi molto più rapidi.

Sia negli Stati Uniti che in Russia, molti di questi progetti fanno tesoro della loro lunghissima esperienza nella costruzione di reattori navali.

### **3.2 Sviluppo storico della tecnologia**

Fin dagli anni 1940, Aviazione, Esercito e Marina Americana provarono ad usare piccoli reattori, dopo il «successo» delle armi nucleari. In 15 anni, l'Aviazione spese un miliardo di dollari (di allora) per sviluppare un reattore per bombardieri a lungo raggio, ma senza successo (anche per ovvie ragioni di sicurezza). Il Presidente Kennedy chiuse il programma.

Anche i piccoli reattori dell'Esercito USA non ebbero miglior fortuna: ne vennero costruiti otto, dislocati in basi remote, come la Groenlandia o l'Antartide. Ma quello della base di Mac Murdo, in Antartide, a seguito di guasti e perdite radioattive, dovette essere rispedito ad una base navale in California insieme a 14.000 metri cubi

di terreno contaminato... Il programma venne cancellato nel 1976, e i reattori sostituiti con generatori Diesel!

Meglio invece l'impegno nella Marina Militare. Infatti, con l'avvio della «guerra fredda» negli anni 1950, la Marina Militare delle Grandi Potenze acquisì un ruolo strategico grazie ai sottomarini ed alle portaerei equipaggiati con reattori nucleari. L'artefice di questa profonda evoluzione fu l'Ammiraglio Hyman G. Rickover, che rapidamente portò a maturità i reattori per uso navale: dopo un tentativo non convincente di reattore refrigerato con sodio liquido, puntò su reattori refrigerati con acqua in pressione (Pressurized Water Reactor: PWR). La Westinghouse fu impegnata fin dall'inizio su questi reattori, ed in seguito anche la General Electric collaborò alla loro costruzione, e così la Rolls Royce per la inglese Royal Navy. Francia, Cina e Russia procedettero in modo autonomo, sempre con reattori PWR, anche se la Russia dotò alcuni dei suoi sottomarini di reattori a neutroni veloci refrigerati da una miscela di piombo e bismuto fusi.

Nel 1989, alla fine della «guerra fredda», vi erano nel mondo oltre 400 reattori per sottomarini, oltre a decine per portaerei ed incrociatori. La Russia ha costruito, e continua a costruire, numerosi rompighiaccio a propulsione nucleare. La sola US Navy ha utilizzato 500 «noccioni» di reattore, ed ha accumulato 5500 anni x reattore e 128 milioni di miglia senza alcun incidente nucleare.



Per quanto riguarda i reattori nucleari navali civili (a suo tempo provati, ma abbandonati, in vari Paesi), è stata la Russia a mantenersi all'avanguardia con la sua flotta di rompighiaccio nucleari, e ad aprire oggi nuove prospettive. L'obiettivo è infatti il potenziamento della flotta dei rompighiaccio nucleari, con reattori in grado di spingerli anche a 10-12 nodi in ghiaccio spesso due metri. Questi rompighiaccio saranno destinati a mantenere per quanto possibile libera la rotta orientale a nord della Siberia per portare fino a 70 milioni di tonnellate all'anno il trasporto di merci verso l'Asia orientale, evitando il Canale di Suez. Recentemente, poi, è stato varato il nuovo impianto nucleare galleggiante, l'Akademik Lomonosov, destinato ad aziende e basi isolate nel Grande Nord.

Negli Stati Uniti gli «Small Medium Reactors» civili, sulla terraferma, hanno una lunga (e tormentata) storia. A partire dagli anni '50, la United States Atomic Energy Commission (USAEC) promosse la costruzione, a fini civili, di numerosi reattori da meno di 300 MWe (ben 17 impianti, nessuno dei quali è più in operazione).

Alcuni di essi erano «prototipi», destinati a generare poi una «filiera» di grandi reattori: tra questi, lo Yankee Rowe, ad acqua in pressione, il Dresden-I, ad acqua bollente, e il Fermi-I. Quest'ultimo, un reattore a neutroni veloci da 61 MWe, subì una fusione del combustibile nel 1966, descritta da John G. Fuller nel 1975 nel suo libro «We Almost Lost Detroit».

Gli altri due reattori riuscirono meglio: lo Yankee Rowe, da 185 MWe, funzionò per 31 anni, anche se il suo decommissioning richiese poi 16 anni e oltre \$600 milioni. Dresden-I, da 180 MWe, restò in servizio dal 1960 al 1978. In ogni caso, i gestori di questi reattori si pentirono di non averli fatti molto più potenti, per ridurre il costo del kWh!

Per servire poi effettivamente le piccole comunità, anche rurali, nel 1955 la USAEC fece un bando apposito, che tra gli altri avviò il progetto del reattore di Elk River, da 22 MWe, annunciato come il «Rural America's First Atomic Power Plant». Era un reattore ad acqua bollente, fatto di componenti prefabbricati, trasportabili per ferrovia, e usava un combustibile costituito da una miscela di Uranio fortemente arricchito e Torio. La costruzione iniziò nel 1959, ma il reattore divenne operativo soltanto nel 1964, e fu fermato nel 1968 per fessure nel circuito di raffreddamento. La gestione del combustibile Uranio-Torio irraggiato risultò molto difficile, e si decise di mandarlo in Italia per ritrattarlo (all'ITREC di Trisaia).

### 3.3 Maturità industriale e applicazioni

Oggi si prospettano, e sono già in avanzata realizzazione, due modi alternativi di utilizzo degli SMR: da un lato, centrali costituite da più reattori modulari, dall'altro la generazione distribuita sul territorio.

Un esempio del primo caso si trova in Cina,



dove a Shidaowan è in fase di completamento la prima centrale modulare basata sul reattore HTR-PM. Si tratta di un reattore ad alta temperatura “pebble bed” (a letto di sfere) refrigerato ad Elio, in grado di produrre vapore alle stesse condizioni di un moderno impianto alimentato a carbone. Sono in costruzione 2 reattori HTR-PM da 250 MWth, che alimentano un turboalternatore da 210 MWe, a cui se ne potranno aggiungere altri, del medesimo tipo e potenza. Se l'impianto si comporterà nel modo sperato, la Cina farà partire un piano per rimpiazzare con questo reattore, entro il 2040, 300-400 caldaie a carbone, a partire dalle zone più popolate ad alto inquinamento atmosferico.

Quali esempi di generazione distribuita, si citano due reattori sviluppati, sempre in Cina, per il teleriscaldamento (district heating) delle grandi città: il reattore NHR200-II della CGN e il reattore DHR-400 Yanlong della CNNC.

Si può infine citare uno studio di fattibilità tecnico-economica, effettuato per l'area metropolitana di Helsinki (Finlandia) che ha 1,5 milioni di abitanti, con l'obiettivo di pervenire alla completa decarbonizzazione di tutti gli usi finali dell'energia: elettricità, calore per processi industriali e riscaldamento, acqua calda, ed anche carburanti liquidi per i trasporti. Se veramente si volesse ottemperare agli obiettivi previsti dall'accordo sul clima della COP21 di Parigi, questa sarebbe una delle opzioni energetiche più realistiche.

## 4 – Classificazione dei reattori SMR in base al fluido refrigerante

### 4.1 Caratteristiche generali

L'acronimo SMR (Small Modular Reactor) fa riferimento a una classe di reattori piccoli (0 – 300 MWe) e modulari, cioè realizzati mediante componenti standard accoppiabili e incrementabili che presentano le caratteristiche generali di seguito descritte. Tuttavia, non è raro trovare, nell'ambito della classe definita, esempi di reattori di taglia superiore, che si può definire “media”, con potenza elettrica che arriva fino a 700 MWe.

La caratteristica fondamentale dei reattori SMR è costituita dal cambiamento del paradigma costruttivo: essi infatti sono basati concettualmente su un modello costruttivo radicalmente diverso dal modello utilizzato per gli impianti nucleari tradizionali, nei quali, pur adottando un reattore di tipo standard di una filiera commerciale (es. PWR), si prevede la costruzione del reattore in situ, in quanto ogni reattore rappresenta una implementazione specifica della filiera per il sito nucleare che a sua volta presenta proprie specificità, essendo ogni impianto nucleare oggetto di una progettazione ad hoc.

Nel caso degli SMR si prevede, per ogni filie-

ra, la completa standardizzazione del design del reattore il che consente di industrializzarne la costruzione, che pertanto avverrà completamente in fabbrica con drastica riduzione dei tempi e costi di produzione. Il concetto di reattore nucleare prodotto su scala industriale conduce immediatamente al concetto di modulo, nel senso che ciascuna unità prodotta può essere considerata come l'unità base di produzione di energia, consentendo pertanto la presenza contemporanea di più moduli nel medesimo impianto, fino al raggiungimento della potenza desiderata, prevedendo, *by design*, la possibilità di ulteriori incrementi del numero di moduli dell'impianto, che risulta pertanto facilmente “espandibile” in termini di potenza prodotta.

Ciascun modulo presenta caratteristiche di integrabilità con gli altri, costituita anche dalla possibilità di operare il controllo e la gestione dell'intero impianto, e pertanto di tutti i moduli, da un'unica sala controllo, ed è inoltre facilmente trasportabile e installabile.

Altra caratteristica dei progetti di SMR è l'allungamento del tempo di refuelling, che passa da 1 anno (tipico degli LWR) a 5 – 6 anni; ciò si ottiene mediante un aumento dell'arricchimento, che non scende in genere al di sotto del 6%.

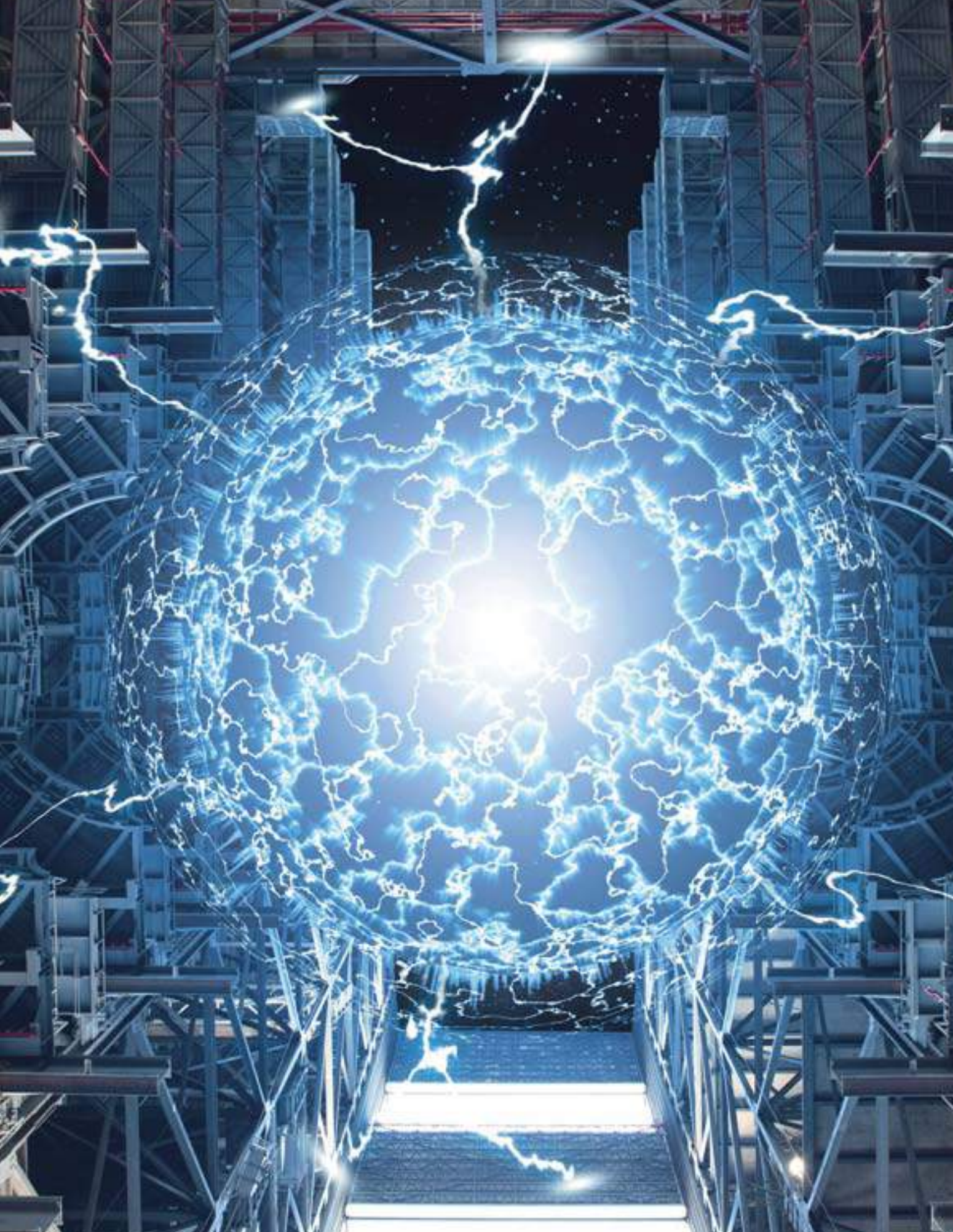
Molti progetti SMR prevedono inoltre reattori in grado di produrre, anche contemporaneamente, sia energia elettrica sia calore, quest'ultimo utilizzato per usi civili o industriali o per la dissalazione marina. Pertanto, un tale SMR sarebbe in grado di fornire contemporaneamente energia elettrica, calore a bassa temperatura per usi civili, calore ad alta temperatura per usi industriale e acqua potabile alla comunità che serve (nel caso di installazioni dedicate) o alla rete.

Le più basse potenze in gioco consentono l'installazione di tali reattori anche in reti a bassa capacità o in siti remoti non serviti adeguatamente dalla rete elettrica (installazioni dedicate), per i quali risulta particolarmente vantaggiosa la versatilità di produzione di cui sopra.

La produzione di moduli standard implica la semplificazione costruttiva del reattore che consente, unitamente a specifiche soluzioni impiantistiche proprie delle varie filiere proposte (descritte nei prossimi paragrafi) e ai più bassi valori di potenza in gioco, un elevato livello di sicurezza conseguente alle caratteristiche stesse del progetto (safety by design), e una maggiore semplicità di gestione dell'impianto.

I reattori SMR si basano, in particolare la filiera LWR, sulle tecnologie consolidate dei reattori commerciali di III Generazione, ma si prefiggono di conseguire gli obiettivi dei reattori di IV Generazione, tra cui, in particolare, sicurezza, economicità e non proliferazione, rientrando pertanto nella classe dei reattori della III Generazione Avanzata (III+).









#### 4.2 Reattori refrigerati ad acqua leggera

Questi reattori presentano un modesto rischio tecnologico, basandosi su una tecnologia già consolidata; il combustibile ha un arricchimento pari a circa il 5% e il tempo di refuelling è di circa 6 anni.

La caratteristica più importante comune a tutti i reattori della filiera è l'adozione di un vessel integrale, nel senso che il Reactor Pressure Vessel (RPV), oltre al combustibile nucleare e alle barre di controllo, ospita tutti i principali componenti del circuito di raffreddamento primario come il generatore di vapore, il pressurizzatore, le pompe di circolazione e i sistemi di comando delle barre di controllo. I reattori integrali di tipo PWR sono identificati anche con l'acronimo iPWR (integrated PWR).

Il reattore integrale elimina tubazioni e componenti esterni e ciò permette di:

- ridurre le dimensioni dell'impianto, rendendolo ultracompatto,
- applicare il concetto di safety by design, in quanto alcuni incidenti vengono eliminati (Large Break Loss-Of-Coolant Accident: LBLOCA) poiché impossibili non esistendo un circuito primario esterno al vessel,
- ridurre il numero di penetrazioni del vessel, ciascuna di piccole dimensioni, tali da rendere credibile solo uno Small Break Loss-Of-Coolant Accident (SBLOCA),
- ridurre le possibilità di perdita di acqua dalle pompe,
- eliminare l'incidente di estrazione improvvisa delle barre di controllo poiché il Control Rod Drive Mechanisms (CRDM) è interno al PV,
- semplificare la progettazione a favore della competitività economica e ancora della sicurezza.

Un'altra caratteristica degli SMR riguarda il maggiore livello di refrigerante primario nel reattore: il posizionamento di tutti i componenti primari all'interno del reattore al di sopra del core fa sì che in caso di incidente severo il core resti sempre sommerso. Inoltre, nonostante le dimensioni del vessel siano proporzionalmente maggiori rispetto a quelle di un PWR non integrato, il sistema di contenimento risulta di gran lunga più piccolo a causa della mancanza delle tubazioni del sistema primario che collegano il vessel ai generatori di vapore con conseguente riduzione degli ingombri totali.

La combinazione di una dimensione maggiore del vessel, con la possibilità di avere il core sempre sommerso dal refrigerante primario, comporta una maggiore inerzia termica del reattore. Il risultato è la riduzione della velocità alla quale la temperatura del sistema aumenterebbe durante una perdita di refrigerante.

Naturalmente l'integrazione di tutti i principali componenti del sistema primario in un unico recipiente, pur limitando il diametro del vessel a limiti di trasportabilità su gomma o rotaia, implica delle dimensioni del recipiente in pressione dei reattori iPWR proporzionalmente maggiori di quelli caratteristici di un PWR tradizionale a singolo circuito. Ad esempio, il rapporto altezza /diametro del vessel di un PWR tipico è circa 2,5 e per un reattore ad acqua bollente (BWR) è circa 2, mentre i reattori evolutivi del tipo W-SMR ed mPower hanno un valore di tale rapporto superiore a 6: valori ancora maggiori indicano che il sistema di refrigerazione di emergenza è attivato dalla sola circolazione naturale, la quale permetterà quindi anche di rimuovere il calore di decadimento del nocciolo e consentirà il sicuro raffreddamento del reattore nel lungo periodo, nel caso di incidente severo con perdita del carico, senza l'intervento di generatori

di emergenza (alimentati ad esempio con diesel o batterie).

In alcuni modelli SMR come NuScale e HI-SMUR, il sistema a circolazione naturale è progettato per essere sufficientemente robusto da poter essere utilizzato come sistema di base per il raffreddamento del nocciolo nel caso di funzionamento a piena potenza, eliminando così completamente la necessità di pompe.

Un nocciolo più compatto e un diametro del vessel minore possono anche garantire un miglior trasferimento del calore di decadimento in senso radiale. Una superficie più estesa del vessel (funzione del rapporto lunghezza/diametro), per unità di potenza, può influire positivamente sulla capacità di refrigerazione: la superficie totale del vessel di un SMR è circa 2-4 volte più grande di quella di un impianto tradizionale. La potenza del calore di decadimento è approssimativamente proporzionale a quella dello stato di piena potenza: pertanto, un reattore da 150 MWe avrà un decimo della quantità di potenza termica di decadimento di un reattore da 1500 MWe. La "minore" potenza termica di decadimento da smaltire fornisce un potenziale vantaggio con riduzione significativa del rischio di danneggiamento del combustibile e quello di eventuali possibili rilasci di prodotti di fissione all'esterno.

Dal punto di vista economico una minor dimensione dell'impianto rende il reattore SMR più sostenibile (ad es. il nuovo reattore W-SMR ha un volume del sistema di contenimento 23 volte più piccolo di quello dell'AP-1000); infine le soluzioni che prevedono di costruire l'edificio nucleare

parzialmente o totalmente interrato permettono di incrementare il margine di sicurezza a fronte degli eventi esterni di origine naturale o antropica quali l'impatto di aereo o di missili, il tornado, lo tsunami, il sisma, ecc.. Oltre ad una maggior resistenza del reattore agli eventi esterni, una costruzione interrata potrebbe ridurre il numero di vie di rilascio dei prodotti di fissione in caso di incidente severo.

#### 4.3 Reattori refrigerati a metalli liquidi

Gli LMFBR (o più brevemente LFR) suscitano un grande interesse legato alla possibilità di conseguire rendimenti termodinamici più elevati, grazie alle più alte temperature di esercizio, intervalli più lunghi di rifornimento del combustibile (fino a 20 anni), migliore utilizzazione del combustibile e la chiusura del ciclo del combustibile stesso (con trasmutazione di una parte significativa degli attinidi minori).

Questi impianti non hanno un moderatore, sono raffreddati da un metallo liquido quale sodio, piombo, o piombo-bismuto, caratterizzati da un'elevata conducibilità e da un elevato punto di ebollizione, il che rende possibile a tali reattori operare a pressioni prossime alla pressione atmosferica.

Gli LFR hanno inoltre caratteristiche intrinseche di sicurezza passiva in quanto nella maggior parte degli SMR a metallo liquido nel refrigerante primario si può avere circolazione per convezione e la regolazione automatica della potenza si ottiene grazie al feedback di reattività: la perdita della refrigerazione induce un aumento di temperatura che rallenta la reazione.





Ad esempio un reattore innovativo refrigerato a piombo (Lead-cooled Fast Reactor - LFR) è un sistema nucleare veloce a ciclo chiuso, che utilizza piombo fuso o una lega eutettica di piombo-bismuto come refrigerante: la temperatura di ebollizione pari a 1750°C permette al refrigerante di lavorare a pressione atmosferica e ad alta temperatura, fino a oltre 600° C.

I reattori veloci a metallo liquido, che operano ad una temperatura di circa 800 °C, oltre che a permettere un rendimento maggiore, rendono possibile la produzione di idrogeno oltre che di energia elettrica, qualora in futuro si rendesse necessaria questa opportunità.

Il reattore LFR può utilizzare combustibile nucleare costituito da nitrato di uranio (UN), nitruri di Uranio e Plutonio (U, Pu) N, nitruri di Uranio e Transuranici (U, TRU) N, leghe di uranio, plutonio e zirconio (U-Zr, o (U, Pu) Zr, arricchito fino al 15-20%), ossidi misti di uranio e plutonio per gli SMR veloci (MOx).

L'utilizzo dei metalli liquidi può però indurre effetti di corrosione (Pb o eutettico piombo-bismuto) e/o ossidazione oppure, come nel caso del sodio, reazioni esotermiche (Na-H<sub>2</sub>O o Na-aria) accompagnate da potenziali incendi o esplosioni. Infatti, il piombo, quando si lega con il bismuto, tende a corrodere il rivestimento del combustibile e le strutture in acciaio, e pertanto si rende necessario il controllo dell'ossigeno disciolto nel refrigerante e lo sviluppo di ma-

teriali che siano in grado di ridurre un rateo di corrosione e tollerare l'esposizione a lungo termine all'irraggiamento neutronico (con i relativi fenomeni di rigonfiamento (swelling) e perdita di duttilità (*embrittlement*)). I reattori SMR-LFR di piccola taglia, avendo un'elevata densità di potenza e quindi un nocciolo molto compatto, possono essere trasportabili e adatti anche alla produzione di idrogeno e acqua potabile.

In sintesi, le caratteristiche principali di questa tipologia di reattori nucleari sono:

- elevati tempi di refuelling a seguito degli elevati arricchimenti e del bruciamento degli attinidi e dei transuranici prodotti nel nocciolo,
- non necessitare di generatori diesel di emergenza per il raffreddamento del nocciolo dopo l'arresto del reattore,

- la lega piombo-bismuto non può causare esplosioni ma solidifica in caso di riduzione della temperatura il che comporta alcuni limiti operativi e delle complicazioni impiantistiche.

L'elevato tempo di refuelling consente ai reattori veloci di essere più autosufficienti dal punto di vista delle scorte di combustibile; infatti sono in grado di bruciare internamente il combustibile fissile prodotto senza effettuare refuelling per una frazione importante della loro vita operativa con un ciclo praticamente chiuso e minimizzando in tal modo il contenuto di rifiuti radioattivi, essendo la maggior parte dei quali "bruciata" nel corso della vita operativa dell'impianto.





Questa caratteristica permette anche di incrementare la resistenza alla proliferazione giacché nessuno o pochissimi rifornimenti di combustibile sono necessari durante la vita operativa del reattore.

#### 4.4 Reattori refrigerati a gas

I reattori termici ad alta temperatura refrigerati a gas (HTGR) usano grafite come moderatore, elio, anidride carbonica o azoto come refrigerante primario.

Il combustibile di questi reattori è costituito da particelle di TRISO (“tristructural-isotropic”) aventi diametro inferiore al millimetro. Ciascuna particella è costituita da un nucleo di combustibile (ca. 0,5 mm) di ossi-carburo di uranio (o biossido di uranio), con uranio arricchito fino al 20% in  $U^{235}$ , rivestito da strati di carbonio e carburo di silicio; questo rivestimento confina i prodotti di fissione ed è stabile fino a temperature superiori ai  $1600^{\circ}C$ .

Queste particelle sono disposte in blocchi esagonali di grafite o in sfere di grafite racchiuse in carburo di silicio, ciascuna tipicamente contenente anche 15.000 sferette di combustibile di 9 g di uranio.

I reattori HTGR sono in grado di utilizzare combustibili a base di Torio, come ad esempio Uranio ad alto o basso arricchimento e Th,  $U^{233}$  e Th oppure Pu e Th.

Tali reattori hanno un coefficiente di reattività alla

temperatura negativo (la reazione di fissione rallenta all’aumentare della temperatura) e la rimozione del calore di decadimento generato nel nucleo di ciascuna particella di TRISO avviene per conduzione del calore attraverso la grafite contenuta negli strati di rivestimento delle particelle stesse le quali, grazie alla grande capacità termica della grafite, nel caso di transitori incidentali, consentono un maggior tempo di rilascio del calore di decadimento verso l’esterno consentendo sia ai sistemi di sicurezza che agli operatori di disporre di un maggior tempo per intervenire. Inoltre la rimozione del calore di decadimento è affidata a sistemi di tipo passivo. Le suddette caratteristiche rappresentano delle implementazioni del concetto di safety by design. Poiché i prodotti di fissione sono confinati all’interno delle particelle di combustibile, gli impianti HTGR non hanno necessità di richiedere alcun edificio di contenimento. Inoltre la loro costruzione in genere è prevista interrata.

In questo settore l’esperienza acquisita con diversi reattori innovativi costruiti negli anni 1960 e 1970 (i reattori del tipo MAGNOX) costituisce il punto di partenza per la progettazione di reattori SMR (es. progetto del reattore cinese HTR-PM, 2011).

I nuovi reattori a gas ad alta temperatura possono raggiungere temperature dell’ordine di  $1000^{\circ}C$  e quindi il calore prodotto può essere utilizzato per varie applicazioni industriali: trami-



te uno scambiatore di calore per produrre convenzionalmente vapore tramite un generatore di vapore, per produrre direttamente energia elettro-nucleare (ciclo Brayton a gas) con quasi il 50% di efficienza termica possibile (l'efficienza aumenta di circa 1,5% per ogni 50° C) o per la dissalazione dell'acqua marina.

#### 4.5 Reattori refrigerati a sali fusi

Nei reattori a sali fusi (MSR) il combustibile viene dissolto nel refrigerante primario.

Nei progetti attuali di MSR, il combustibile è una miscela di sali fusi di fluoruro di berillio e litio in cui è sciolto Uranio arricchito, Torio o fluoruro di  $U^{233}$ .

Il sale di fluoruro fuso, in cui è disciolto il combustibile fissile e fertile (nonché i prodotti di fissione), fluisce attraverso il core, che, essendo il combustibile distribuito in tutto il circuito refrigerante, può essere più propriamente definito come il volume all'interno del quale avviene la reazione a catena, il quale è costituito esclusivamente da un moderatore di grafite privo di guaina, e da qui viene convogliato allo scambiatore di calore primario, dove scambia con un circuito refrigerante secondario in cui circolano ancora, per motivi di compatibilità chimica, sali fusi; quest'ultimo a sua volta trasferisce il calore ad un circuito a vapore per la produzione di potenza. Il rapporto grafite-combustibile è regolato in modo da ottenere un bilancio neutronico ottimale ed il raggiungimento di uno spettro neutronico epitermico.

Il calore è generato direttamente nel sale fuso (contenente il combustibile) che entra nel vessel del reattore a circa 565°C ed esce a circa 705°C ed alla pressione di 1 atm (la temperatura di ebollizione del refrigerante è di circa 1400°C). Il circuito refrigerante primario non è quindi in pressione.

Una caratteristica chiave dei reattori a sali fusi è legata ad alcuni aspetti di sicurezza intrinseca che permettono di ridurre, rispetto ad altri reattori, il rischio di incidenti severi. Infatti utilizzando combustibile liquido i MSR possono operare in condizioni di reattività stazionarie e pertanto non c'è necessità di caricare combustibile in eccesso allo start-up per compensarne la diminuzione o contrastare la formazione di veleni. Ciò comporta un coefficiente di temperatura negativo ( $K_T < 0$ ): infatti se la temperatura aumenta la densità del sale diminuisce, ma la minima riduzione della quantità di combustibile presente nel core comporta uno spegnimento sicuro del reattore. Inoltre un  $K_{eff} = 1$  consente, in condizioni di normale esercizio, che le barre di controllo siano completamente rimosse dal reattore, rendendo impossibile l'incidente di criticità causato dall'espulsione di una barra di controllo dal core.

I MSR utilizzano sistemi di emergenza passivi per il raffreddamento del core, come ad esempio le valvole di raffreddamento, che si aprono nel caso in cui si abbia il surriscaldamento del sale facendolo confluire in serbatoi di stoccaggio.

Il sistema primario è posto all'interno di una

Tabella 1  
dati d'impianto progetto  
Nuscale

Potenza termica	160 MWt
Potenza elettrica	45 MWe
Dimensioni del vessel	2,7 (D) x 13,7 (H) m
Pressione del primario	127 bar
Portata di refrigerante	0,6 m <sup>3</sup> / s
Pressione del vapore	31 bar
Portata di vapore	70 kg/s
T <sub>in</sub> acqua di alimento	150 °C
cluster	17 x 17 fuel pin array
Arricchimento in $U_{235}$	4,95 %
Pompe di alimento primario	Assenti (circolazione naturale)
ECCS (DHRS e CHRS)	2 sistemi passivi a circolazione naturale
refuelling	Ogni 2 anni
Contenimento secondario	Sottterraneo immerso in piscina

“hot-box” sigillata ed isolata che evita la formazione di “zone fredde”, in corrispondenza delle quali si ha una diminuzione di temperatura del sale e, quindi, il rischio di solidificazione.

## 5 – Esempi di progetti di reattori SMR

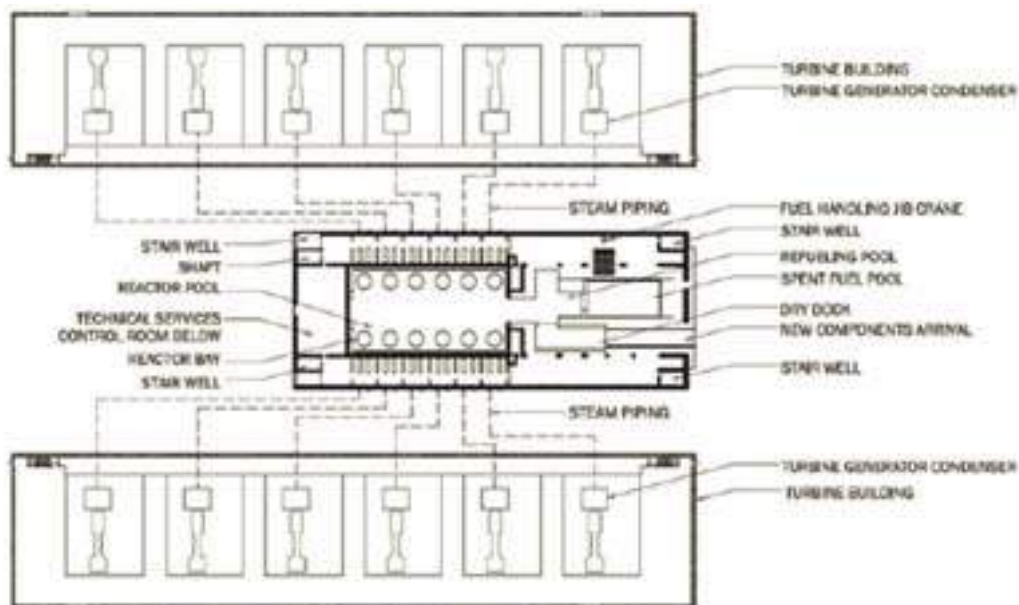
### 5.1 Reattori refrigerati ad acqua leggera

#### 5.1.1. Nuscale

Nuscale è un progetto PWR integrato, progetto della NuScale Power Inc, USA modulare e scalabile fino a 12 moduli. È progettato per essere realizzato in fabbrica e trasportato sul sito di installazione. Il combustibile è  $UO_2$  arricchito al 4,95% in  $U^{235}$  con refuelling del core previsto ogni 2 anni. Essendo un iPWR, lo schema d’impianto è tale da mitigare un eventuale SBLOCA e rendere impossibile un LBLOCA. La sicurezza prevede 2 sistemi Emergency Core Cooling Systems (ECCS) di tipo passivo e il contenimento interrato immerso in piscina, con pressione di progetto, pari a 34 bar, maggiore della pressione di SBLOCA. La piscina interrata è costruita in cemento e rivestita da un liner di acciaio; essa può smaltire il calore di decadimento per 3 giorni garantendo una temperatura di parete del fluido pari a 93 °C.



Figura 1 -  
reattore Nuscale  
Lay – out e schema d’impianto  
a 12 unità (540 MWe)





### 5.1.2. CAREM

Il progetto CAREM prevede un PWR integrato, progetto della *Comisión Nacional de Energía Atómica* (CNEA), Argentina, concepito per la cogenerazione di energia elettrica e di calore necessario alla dissalazione dell'acqua di mare. Il pressurizzatore è assente in quanto l'impianto lavora alla pressione di saturazione corrispondente alla temperatura di uscita del refrigerante dal nocciolo. Il combustibile è  $UO_2$  con refuelling del core ogni 14 mesi.

Il sistema prevede le seguenti caratteristiche di sicurezza:

- Refrigerante primario in circolazione naturale,
- CRDM idraulico interno all'RPV con barre movimentate attraverso un meccanismo che consente uno spostamento step-by-step evitando incidenti di reattività,
- Sistema di iniezione dell'acqua borata di tipo passivo: quando la pressione supera una soglia fissata o in caso di LOCA le valvole che collegano 2 serbatoi posti nel secondario con il RPV si aprono e il liquido cade per gravità,
- Residual Heat Removal System (RHRS) di tipo passivo,
- ECCS di tipo passivo,

- L'RPV è dotato di 3 valvole di sfioro di sicurezza che intervengono in caso di sovrappressioni, ciascuna con capacità pari al 100 %,
- Contenimento secondario in calcestruzzo con liner interno dotato di sistemi di soppressione del vapore e riduzione della pressione.

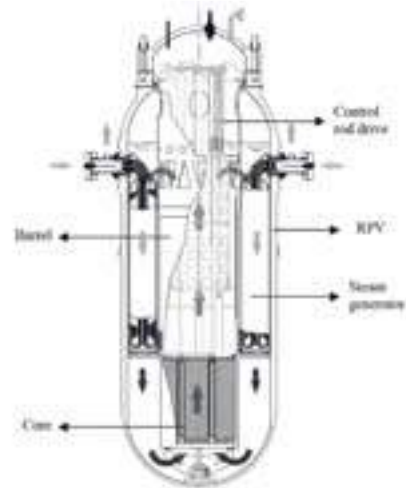


Figura 2 - reattore CAREM: pressure vessel

Tabella 2  
dati d'impianto  
progetto CAREM

Potenza termica	100 MWt
Potenza elettrica	27 MWe
Dimensioni del vessel	3,2 (D) x 11 (H) m
Pressione del primario	122,5 bar
$T_{in}$ core	248 °C
$T_{out}$ core	326 °C
Portata di refrigerante	0,41 m <sup>3</sup> / s
Pressione del vapore	47 bar
Surriscaldamento	30 °C
$T_{in}$ acqua di alimento	200 °C
$T_{out}$ vapore	290 °C
Arricchimento in $U_{235}$	3,4 %
Controllo della reattività	25 CR di cui 6 con funzioni di sicurezza
Pompe di alimento primario	Assenti
ECCS	Passivo a circolazione naturale
refuelling	Ogni 14 mesi
Generatore di vapore	12 Once – through con vapore lato tubi
Contenimento secondario	Calcestruzzo con liner di acciaio interno

### 5.1.3. Reattori localizzati in mare

La ridotta potenza e la scalabilità degli SMR consentono di progettare reattori destinati a impianti non localizzati sulla terraferma ma su piattaforme marine o totalmente immersi in acqua. Ciò non rappresenta ovviamente una novità assoluta nell'ambito dell'impiantistica nucleare in quanto risale agli anni '50 l'utilizzo dell'energia nucleare per la propulsione di navi e sottomarini militari, in prevalenza, ma anche civili. Tuttavia l'utilizzo dell'energia nucleare in impianti di produzione di energia elettrica da immettere in rete non localizzati sulla terraferma rappresenta senz'altro una novità che conferisce caratteristiche di particolare originalità a tali progetti.

Di seguito si darà qualche cenno a due progetti ritenuti tra i più interessanti, Flexblue (Francia) e KLT-40S (Russia).

Flexblue è un sistema nucleare trasportabile e immerso (Total Immersed Nuclear Power System - TINPS), con una potenza di 160 MWe. Il sistema è progettato per fornire elettricità utilizzando una unità di produzione (Total Immersed Nuclear Unit - TINU), in seguito chiamato "modulo" che è ancorato sul fondo del mare, tra 40 m e 100 m. Ogni modulo ha una lunghezza pari a 146 metri e un diametro di 14 metri. Ulteriori moduli possono essere installati all'aumentare della domanda di energia. Le unità nucleari sono posizionate vicino alla riva e devono essere all'interno delle acque territoriali.

La sezione del reattore, sigillata, comprende un reattore PWR con arricchimento del combustibile classicamente inferiore al 5% e una turbina che genera elettricità; è fabbricato in una catena di montaggio e assemblato in un cantiere navale. Il sistema di controllo e la connessione alla rete elettrica sono raggruppati in una struttura terrestre chiamata "Centro di controllo costiero" (SCC) collegati ai moduli immersi (o all'insieme dei moduli) tramite cavi interrati sottomarini. Lo scarico del combustibile e la ricarica nonché le principali operazioni di manutenzione vengono eseguite su una base costiera

denominata "Service Factory" (Sito di supporto), che può trovarsi a distanze significative dal sito operativo.

KLT-40S è un progetto di reattore modulare basato sul modello OKBM Afrikantov utilizzato nei rompighiaccio a propulsione nucleare che viene riproposto per essere installato su piattaforme galleggianti per fornire energia in zone poco abitate.

Il reattore KLT-40S impiega soluzioni miranti a garantire la sicurezza comuni agli altri progetti SMR LWR, come ad esempio una struttura compatta del gruppo GV con bocchelli che li collegano direttamente al vessel, perciò senza la necessità di tubazioni primarie, attuatori di arresto di emergenza del reattore basati su principi di funzionamento differenti e sistemi di rimozione del calore di emergenza collegati ai circuiti primari e secondari; tale reattore è caratterizzato da un sistema primario a quattro loop, con circolazione forzata e naturale, da generatori di vapore del tipo once through e da sistemi di sicurezza passivi.

Il nocciolo del reattore viene normalmente raffreddato con circolazione forzata (sistema PWR a 4-loop) ma in caso di emergenza si attiva passivamente la circolazione naturale.

Un'unità da 150 MWt può produrre 35 MWe sfruttabili per fornire energia elettrica, per la desalinizzazione o il teleriscaldamento.

Questo reattore è progettato con un ciclo del combustibile di 3-4 anni. Alla fine del ciclo operativo, previsto essere di 12 anni, l'intero sistema viene smontato e portato in un impianto per la revisione e lo stoccaggio del combustibile utilizzato. Il combustibile può avere livelli di arricchimento minori del 20%, rinunciando in tal modo al rifornimento con periodo di quattro anni.

La prima centrale nucleare del tipo in oggetto è la Lomonosov Akademik costruita da NMZ su progetto Rosatom, azienda che ha eseguito anche la costruzione del reattore, ed entrata in esercizio nel Maggio del 2018.

b) reattori refrigerati a metalli liquidi

Figura 3  
configurazione tipica del sistema Flexblue



Figura 4  
configurazione di un'unità di potenza galleggiante KLT-40S



### 5.2.1. Brest 300

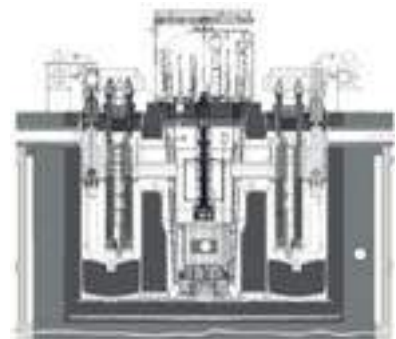
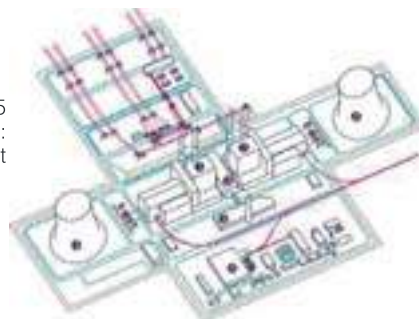
Il progetto della Minatom/Rosatom, Russia, prevede un FBR raffreddato al Pb, ideato quale dimostratore di un impianto da 1200 MWe. Il combustibile è costituito da Nitrati di Uranio e Plutonio (P-U)N, che posseggono una elevata compatibilità con il Piombo e il materiale strutturale. Il riflettore è costituito da Piombo alloggiato

in scatole di geometria simile agli elementi di combustibile. Lo spessore tra pellet e guaina è riempito di argon per migliorare l'accoppiamento termico combustibile – refrigerante e ridurre la temperatura del combustibile. Elevate sezioni di passaggio del refrigerante prevengono eventuali riduzioni di portata locali e il burn-out; inoltre  $\Delta k_{eff}(TPb) < 0$ ,  $\Delta k_{eff}(P) < 0$ .

Tabella 3  
dati d'impianto progetto  
BREST 300

Potenza termica	700 MWt
Potenza elettrica	300 MWe
Vessel	Doppio vessel in acciaio
Materiale strutturale	Acciaio ferritico martensitico al cromo
Pressione del primario	17 bar
T <sub>in</sub> core	420 °C
T <sub>out</sub> core	540 °C
Portata di refrigerante	3.800 kg / s
Pressione del vapore	245 bar
T <sub>in</sub> acqua di alimento	340 °C
T <sub>out</sub> vapore	520 °C
Efficienza termodinamica	43 %
Cluster	11 x 11 fuel pin array
N° cluster	185
Lunghezza attiva della barra	1,1 m
Materiale del rivestimento della barra	Acciaio ferritico martensitico al cromo
Densità del combustibile	14,3 g / cm <sup>3</sup>
Conducibilità termica del combustibile	20 W/mK
Carica di combustibile	16 t
Controllo della reattività	40 elementi di controllo posti sul perimetro
Pompe di alimento primario	4 assiali
ECCS	Attivo con utilizzo dell'1% della P <sub>e</sub>
refuelling	1 anno
Generatore di vapore	8 (P <sub>t</sub> = 87,5 MW <sub>t</sub> per ogni generatore)
Contenimento secondario	calcestruzzo

Figura 5  
BREST 300:  
sezione e lay-out





### 5.2.2. PRISM

Il progetto della GE Hitachi Nuclear Energy, Giappone, prevede un reattore FBR modulare il cui nocciolo è costituito da elementi di combustibile costituiti da una lega di U-Pu-Zr refrigerato da Na liquido con refuelling ogni 18 mesi. La sicurezza dell'impianto è affidata a sistemi passivi quali il sistema di spegnimento e l'RHRS nonché a una reattività del sistema negativa rispetto molte variabili di processo:  $K_{Doppler} < 0$ ,  $K_{pNa} < 0$ ,  $K_{vuoti} < 0$ ,  $K_{\Delta p_{comb}} < 0$ .

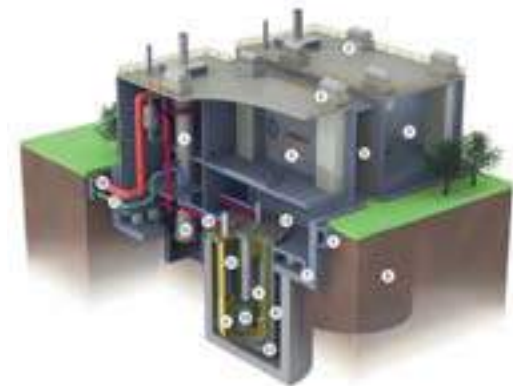


Figura 6  
PRISM: rappresentazione d'insieme dell'impianto

## 5.3. L'esperienza italiana

L'ingegneria nucleare italiana ha contribuito e contribuisce in modo significativo allo sviluppo della tecnologia SMR, apportando il proprio contributo alla definizione delle logiche e dei parametri di funzionamento di tale tecnologia. Tale contributo si è sviluppato nel corso del tempo principalmente attraverso tre progetti denominati MARS, IRIS e ALFRED, ai quali si farà un sintetico cenno nel seguito.

### 5.3.1. MARS (Università di Roma La Sapienza)

Il progetto MARS (Multipurpose Advanced Reactor inherently Safe) prevede un reattore di tipo PWR a singolo loop e definisce un impianto particolarmente semplice, economico e ad elevata sicurezza, sviluppato nel corso degli anni '90. Il progetto implementò per primo, in maniera completa, il concetto di security by design, definendo un reattore a completa sicurezza intrinseca realizzata esclusivamente mediante sistemi passivi azionati dalle leggi della natura, contribuendo in tal modo a definire le caratteristiche e i parametri di tali sistemi passivi che sono poi stati ripresi e sviluppati da molti altri progetti. Inoltre il progetto MARS introdusse il concetto di industrializzazione del reattore nucleare, prevedendo una produzione in fabbrica di componentisti-

ca realizzata in serie, in modo che la costruzione del reattore in sito doveva consistere esclusivamente nell'assemblaggio di tali componenti standardizzati; analogamente veniva introdotto il concetto di modularità dell'impianto. Si definiva pertanto, per la prima volta, il nuovo paradigma costruttivo di cui scritto nel § 4.1 che è divenuto uno degli aspetti propri della tecnologia SMR.

Inoltre l'introduzione di sistemi di sicurezza passivi consentiva di eliminare le ridondanze necessarie per i sistemi attivi, realizzando così un progetto notevolmente semplificato ed economico.

### 5.3.2. IRIS (Politecnico di Milano)

Il progetto IRIS (International Reactor Innovative and Secure) si è sviluppato dal 2000 al 2010 mediante una collaborazione tra Politecnico di Milano e Westinghouse.

I criteri base di progetto furono la semplicità, l'economia e la sicurezza realizzata mediante il safety by design.

Il progetto prevede un modulo iPWR da 335 MWe con 8 generatori di vapore ciascuno alimentato con una pompa assiale totalmente sommersa, CRDM interno e tempo di refuelling pari a 4 anni. Caratteristiche peculiari del progetto sono il contenitore secondario sferico in acciaio, di diametro pari a 25 m con pressione di progetto di 15 bar, un flusso neutronico 105 volte più basso sulle pareti del vessel rispetto il valore dei PWR standard grazie allo strato di 1,7 m dell'acqua di refrigerazione del nocciolo in uscita dagli scambiatori (downcomer), rendendo così il vessel particolarmente "freddo" ed eliminando sostanzialmente il problema dell'irraggiamento da radiazioni, il che a sua volta elimina la necessità della sorveglianza di tale fenomeno, rende la vita utile del vessel praticamente infinita, semplifica il decommissioning e riduce a 0 la dose assorbita esternamente al vessel.

Inoltre le caratteristiche di sicurezza intrinseca del sistema sono tali da consentire di prevedere una zona di emergenza di raggio pari ad appena 1 Km.

Nell'ambito di questo progetto fu ridefinita in maniera analitica la curva del costo del MWe prodotto in funzione della potenza dell'impianto, dimostrando che l'andamento non è lineare, come fino a quel momento ritenuto, ma sostanzialmente iperbolico, in quanto l'aumento del costo del MWe al diminuire della potenza risulta fortemente attenuato dalla semplificazione del progetto, dalla scalabilità dell'investimento e dalla modularità dell'impianto.

Il progetto IRIS è alla base del progetto Flexblue di cui al § 5.3.2.

### 5.3.3. ALFRED (Ansaldo – ENEA)

Il progetto ALFRED (Advanced Lead – cooled Fast Reactor European Demonstrator) vede l'Ansaldo nel ruolo di General Architect mentre l'E-

NEA ha il compito di progettare il core e sviluppare le necessarie attività di R&D. Esso prevede un reattore veloce da 125 MWe con nocciolo, combustibile MOX, refrigerato con Piombo fuso, controllo della reattività effettuato con due diversi sistemi di CR, uno per il controllo fine della potenza, l'altro per lo shutdown e circolazione naturale del Piombo in condizioni incidentali.

Il progetto vuole dimostrare la fattibilità tecnologica e la sostenibilità economica dei reattori veloci refrigerati al Piombo, in alternativa alla tecnologia del Sodio, in relazione, essenzialmente, all'assenza di reazioni esotermiche del Piombo con l'acqua e l'aria e alla minore energia immagazzinata in 1 m<sup>3</sup> di refrigerante, pari 1,09 GJ/m<sup>3</sup> rispetto i 10 GJ/m<sup>3</sup> del Sodio.

La tecnologia dei reattori veloci è considerata ottimale anche in relazione al ciclo del combustibile implementabile, che diviene sostanzialmente chiuso, consentendo negli impianti di ritrattamento la sola estrazione dei prodotti di fissione ma non del Plutonio e degli Attinidi Minori. Ciò infatti consente di ottenere solo scorie radioattive a vita breve o media (minore di 400 anni), produrre nuovo combustibile con solo Uranio naturale o depleto, comportando così un consumo di Uranio naturale 100 volte inferiore rispetto quanto avviene nel ciclo utilizzato dai reattori termici e una maggiore resistenza alla proliferazione, non separando il Plutonio nel processo di ritrattamento. Dal Maggio del 2017 partecipa al progetto anche la Romania.

## 6 – Gli SMR in un sistema energetico integrato

### 6.1 L'utilizzo degli SMR per il fabbisogno notturno

L'Italia, ad oggi, necessita di una potenza elettrica istantanea giornaliera di 50000MW da avere pronta in rete con una stima di 15000MW nelle ore notturne.

L'esigenza di assicurare con continuità l'approvvigionamento dell'energia nelle ore notturne, evitando i problemi di possibili black-out della rete elettrica italiana, potrebbe trovare una soluzione con l'introduzione dei reattori SMR (small and medium modular reactor) nella misura del 30% tale da coprire questa richiesta evitando problemi di deficit critici di energia elettrica.

Al fine di coprire il fabbisogno energetico elettrico di 15000MW pari al 30% della potenza elettrica istantanea giornaliera sarebbe, dunque, necessario collocare 50 reattori SMR (small and medium/ modular sized reactor) da 300MWe, circa 3 reattori per ogni regione italiana. Il tempo necessario per il loro posizionamento e messa in esercizio potrebbe essere di dieci anni (2020-2030).

### 6.2. Analisi tecnica ed economica

Segue ora una stima ingegneristica tecnico-economica di massima, comprendente i calcoli di potenza elettrica, il piano produttivo temporale, i costi associati, le modalità di integrazione degli SMR e la resilienza del sistema complessivo al black-out.

#### 6.2.1. Programma decennale di costruzione degli SMR

In 10 anni (2020-2030) sono da costruire 50 NPP (SMR da 300 MWe) e cioè circa 3 SMR per ogni Regione Italiana.

Ipotizzando 5 anni di costruzione per ogni SMR abbiamo il seguente Planning (Tabella 4).

#### 6.2.2. Costo del kWh

##### a) Nucleare

(+30% per il Decommissioning):  $4 \frac{c\text{€}}{kWh}$

$$\text{Investimento: } \frac{10^9 \text{€}}{3 \cdot 10^5 kW \cdot 30 \text{yr} \cdot 7000h / \text{yr}} = 1,5 \frac{c\text{€}}{kWh}$$

Combustibile:

$$\frac{9000 \text{ kg} U_{3,6\%}}{\text{yr}} \cdot \frac{3000 \text{ €}}{\text{kg} U_{3,6\%}} \cdot \frac{1}{3 \cdot 10^5 kW \cdot 7000h / \text{yr}} = 1,3 \frac{c\text{€}}{kWh}$$

Manutenzione e personale:  $\cong 1,2 \frac{c\text{€}}{kWh}$

#### 6.2.3. SMR da 300 MWe

a) Si ipotizza un costo di circa 1 G€, una vita di 30 anni ed un fattore di utilizzazione di 7000 h/yr.

##### b) Nocciolo:

Il nocciolo avrà circa 27 tU<sub>3,6%</sub> assemblato in circa 144 elementi di combustibile (EdC), ciascuno del peso di circa 200 kg.

Tabella 4

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
NPP	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5				
														End

Infatti ipotizzando una ricarica ogni  $T=3$  years (utilizzazione:  $900 \text{ Day} \approx 3 \cdot 7000h \approx 20.000h$ ) si avrà il seguente consumo annuo di combustibile

$$\text{nucleare: } c_{U,3,6\%} = \frac{900 \text{ MWt}}{30.000 \frac{\text{MWtD}}{tU_{3,6\%}}} \cdot 300 \frac{\text{D}}{\text{yr}} = 9 \frac{tU_{3,6\%}}{\text{yr}}$$

e quindi la seguente quantità di uranio nel nocciolo

$$q_{U,3,6\%} = 9 \frac{tU_{3,6\%}}{\text{yr}} \cdot 3 \text{ yrs} = 27 tU_{3,6\%}$$

**c) Combustibile:**

$$\text{Consumo: } \frac{9 t U_{3,6\%}}{\text{yr}}$$

$$\text{Costo Fornitura uranio arricchito: } \frac{1500\text{€}}{\text{kg}U_{3,6\%}}$$

$$\text{Fornitura: } \frac{7 \text{ kg}U_{nat}}{\text{kg}U_{3,6\%}} \cdot \frac{100 \text{ €}}{\text{kg}U_{nat}} = \frac{700 \text{ €}}{\text{kg}U_{3,6\%}}$$

$$\text{Arricchimento da 0,7% al 3,6\%: } \frac{800\text{€}}{\text{kg}U_{3,6\%}}$$

$$\text{Costo Assemblaggio (EdC): } \frac{1500\text{€}}{\text{kg}U_{3,6\%}}$$

$$\text{Costo totale EdC: } \frac{3000\text{€}}{\text{kg}U_{3,6\%}}$$

#### 6.2.4. Il Blackout elettrico del 28 settembre 2003 in Italia

È molto tempo ormai che è passato l'incubo generalizzato del blackout. Da tempo i grandi media che lo avevano analizzato e trasmesso minuto per minuto lo escludono – come tema – dalla loro agenda: è una notizia che non fa più notizia! Un esperto di comunicazioni di massa direbbe che proprio questa discrezionalità nell'“agenda setting” manifesta il vero potere dei media nella nostra epoca. Sappiamo bene che un vecchio adagio paesano dice “passata la festa, gabba-to lo santo!” e così le cause dei black out (totali o parziali che siano) nel nostro Paese restano ancora tutte lì dov'erano; progressi e soluzioni concrete quali l'installazione di nuova potenza in Italia sono stati modesti se non del tutto insignificanti rispetto alle esigenze. La riserva di potenza disponibile – primaria e secondaria - per un paese, come l'Italia, post-industriale avanzato, e per di più poco interconnesso per le sue stesse caratteristiche geografico-morfologiche, deve essere sostanziosa. In passato, “quando si stava peggio”, cioè prima del 1996, si raggiungeva anche il 30%. Ma la potenza di riserva in genere è costosa e non gratuita e oggi, nonostante le liberalizzazioni e privatizzazioni, non sembrano in molti quelli che spinti dal “mercato” sono disponibili a installarla a proprio rischio (finanziatori e

banche compresi) a meno che non intervenga il solito “Pantalone”. La punta di potenza attesa dal gestore della rete nazionale per il periodo estivo ci potrebbe riproporre – sotto mutate spoglie e a seguito di diverse circostanze – lo stesso evento già vissuto la mattina di domenica 28 settembre 2003, con gli stessi disagi, le stesse perdite, gli stessi sprechi.

Il modello elettrico, che viene proposto di seguito, è un modo per riflettere sul blackout e cercare di comprenderlo meglio, per parlarne e discuterne tra tecnici e soprattutto per tenere viva e presente la necessità di soluzioni radicali al problema. Viene riportato uno schema che mira a calcolare i tempi di intervento (estremamente ridotti) che erano a disposizione per prendere provvedimenti (per es. parziali distacchi di carico) al fine di evitare il peggio.

Lo schema proposto, pur nella sua complessità, appare essere comunque una semplificazione. Infatti, non tiene completo conto delle interazioni tra sistema di generazione e rete/carico, ovvero, per esempio, degli effetti capacitivi ed induttivi della rete che hanno certamente un'influenza sui tempi che lo schema di calcolo propone di stimare. Inoltre, le reti interconnesse e i sistemi di generazione, che ovunque immettono in esse, costituiscono un tutt'uno con uno specifico punto di lavoro che tende a rimanere stabile per effetto di quegli impianti di generazione che effettuano regolazione primaria e secondaria, i quali nel loro insieme hanno – entro certi limiti – una capacità di “sostenere il punto di lavoro” lì dove volta per volta il sistema si trova, immettendo automaticamente nuova potenza, salvo deliberate azione di discesa (o aumento) di carico da parte dei dispacciatori.

In particolare si analizzano le cause che hanno comportato il blackout della rete elettrica italiana la domenica mattina del 28 settembre 2003. Si trova che in quella mattina la rete italiana erogava a regime la potenza  $P_{g,n}=16000 \text{ MW}$  quando, a causa di un 1° cortocircuito sulla linea a 380 kV interconnessa con la Svizzera che ci forniva circa 1300 MW, con il conseguente convogliamento di tale potenza dalla Svizzera in Italia attraverso le linee francesi a 380 kV le quali passavano così da un'erogazione all'Italia di una potenza di circa 4700 MW ad un'erogazione di circa 6000 MW, ed a causa anche del successivo distacco della connessione francese per sovraccarico, la rete italiana si è trovata di colpo ad un deficit di potenza di  $\delta P=6000 \text{ MW}$  che, rappresentando il 37% della potenza di regime di 16000 MW, ha comportato una equivalente caduta della frequenza di rete determinando in pochi secondi lo scatto delle protezioni elettriche per bassa frequenza, l'apertura degli interruttori sulle linee di alta tensione e quindi il blackout su tutta la rete italiana.





### 6.2.5. Blackout elettrico

L'equazione dinamica dei turbogeneratori alimentanti la rete elettrica nazionale è:

$$P_g - P_r = (M_g - M_r) \cdot \omega = I \frac{\partial \omega}{\partial t} \cdot \omega = \frac{I}{2} \cdot \frac{\partial \omega^2}{\partial t} \quad (6.5.1)$$

dove:

$P_g$  e  $P_r$  sono rispettivamente la potenza generata (e immessa nella rete) e quella richiesta (e assorbita) dagli utilizzatori;

$M_g$  e  $M_r$  sono rispettivamente la coppia motrice e quella resistente dei turbogeneratori;

$\omega = 2 \pi f$  la pulsazione della rete a frequenza  $f$ ;

$I$  il momento d'inerzia equivalente di tutte le masse rotanti;

$t$  il tempo.

In condizioni di regime abbiamo:

$$M_{gn} = M_{rn} \quad (6.5.2)$$

$$P_{gn} = M_{gn} \cdot \omega_n = P_{rn} = M_{rn} \cdot \omega_n$$

$$\text{essendo } f_n = \frac{\omega_n}{2\pi} = 50 \text{ Hz}$$

Integrando la (6.5.1) dall'istante  $t=0$ , a cui corrisponde la pulsazione  $\omega(0)=\omega_0$ , all'istante generico  $t$ , a cui corrisponde la pulsazione  $\omega$ , abbiamo:

$$\int_0^t (P_g - P_r) dt = \frac{I}{2} \int_{\omega_0}^{\omega} d\omega^2 \quad (6.5.3)$$

che, risolta considerando  $\delta P = P_g - P_r$  costante, conduce alla seguente espressione di  $\omega$  in funzione del tempo  $t$ :

$$\omega^2 = \omega_0^2 + \frac{2(P_g - P_r)}{I} \cdot t \quad (6.5.4)$$

Nel caso di primo avviamento per portare la rete nazionale a livelli di tensione e frequenza nominali, la (6.5.4) permette di ricavare l'ordine di grandezza del tempo di avviamento  $t_A$ .

Infatti ponendo nella (6.5.4)

$$P_r = 0, \omega_0 = 2\pi f_0 = 0 \text{ e } \omega = \omega_n = 2\pi f_n = 2\pi \cdot 50 \text{ Hz}$$

abbiamo:

$$t_A = \frac{I \omega_n^2}{2P_{g,n}} \quad (6.5.5)$$

Tenuto conto della (6.5.5) è possibile pertanto esprimere la (6.5.4), cioè  $\omega$  in funzione del tempo  $t$ , nel seguente altro modo:

$$\omega^2 = \omega_0^2 + \omega_n^2 \cdot \frac{P_g - P_r}{P_{g,n}} \cdot \frac{t}{t_A} \quad (6.5.6)$$

In particolare la (6.5.6) ci permette di calcolare il tempo  $t_p$  di scatto delle protezioni di rete nel caso di perdita istantanea della potenza

$\delta P (= P_g - P_r)$  durante un funzionamento a regime ( $\omega_0 = \omega_n$ ) ed una conseguente discesa della

ovvero (vedi Tabella 5):

frequenza  $f = \frac{\omega}{2\pi}$  al valore di taratura  $f_p = \frac{\omega_p}{2\pi}$ :

$$t_p = 0,05 \cdot t_A = 0,05 \cdot 45 = 2,4 \text{ s} \quad (6.5.9)$$

$$\frac{t_p}{t_A} = \left(\frac{\omega_p^2}{\omega_n^2} - 1\right) \cdot \frac{P_{g,n}}{P_g - P_r} = \left(\frac{f_p^2}{f_n^2} - 1\right) \cdot \frac{P_{g,n}}{\delta P} \quad (6.5.7)$$

Nel caso specifico del blackout di domenica mattina 28 settembre 2003, la rete italiana erogava a regime la potenza  $P_{g,n} = 16000 \text{ MW}$  quando a causa di un 1° cortocircuito sulla linea a 380 kV interconnessa con la Svizzera che ci forniva circa 1300 MW, con il conseguente convogliamento di tale potenza dalla Svizzera in Italia attraverso le linee francesi a 380 kV le quali passavano così da un'erogazione all'Italia di una potenza di circa 4700 MW ad un'erogazione di circa 6000 MW, ed a causa anche del successivo distacco della connessione francese per sovraccarico, la rete italiana si è trovata di colpo ad un deficit di potenza di  $\delta P = 6000 \text{ MW}$  che, rappresentando il 37% della potenza di regime di 16000 MW, ha comportato una equivalente caduta della frequenza di rete determinando in pochi secondi lo scatto delle protezioni elettriche per bassa frequenza, l'apertura degli interruttori sulle linee di alta tensione e quindi il blackout su tutta la rete italiana.

Utilizzando la (6.5.7) e tenendo conto che ora  $t_A$  rappresenta un tempo di rallentamento e fermata dell'ordine di 45 s, il tempo  $t_p$  di scatto delle protezioni di rete (tarate a  $f_p = 49,5 \text{ Hz}$ ) dopo la perdita di potenza di 6000 MW è:

$$\frac{t_p}{t_A} = \left(\frac{f_p^2}{f_n^2} - 1\right) \cdot \frac{P_{g,n}}{P_g - P_r} = \left(\frac{49,5^2}{50^2} - 1\right) \cdot \frac{16000}{10000 - 16000} = 0,05 \quad (6.5.8)$$

## 7 – Conclusioni

Come tutte le tecnologie innovative, la filiera degli SMR dovrà superare tutte le fasi di test e sperimentazione per rispondere alla richiesta di elevata sicurezza, alta prestazione, basso costo e semplicità ed efficacia di gestione.

Inoltre, l'attuale molteplicità di progetti di reattori, dimostrativi o ancora concettuali, mostra che prima o poi si dovrà convergere su un numero limitato e rappresentativo che possa essere messo sul mercato ed in operazione con elevata affidabilità e sicura convenienza.

Ma le prospettive di utilizzo rimangono comunque senz'altro notevoli.

Gli SMR possono permettere di raggiungere in modo soft l'equilibrio e la stabilità delle nuove reti energetiche distribuite ed integrate, permettendo alle rinnovabili un margine operativo che attualmente risulta invece particolarmente rigido e limitante.

Possono permettere, inoltre, di introdurre una importante componente low-carbon nelle reti di produzione elettrica ed energetica, contribuendo notevolmente a ridurre impatto ambientale clima-alterante, insieme alle rinnovabili FER.

La loro modularità di fabbricazione ed installazione possono consentire investimenti possibili e dilatabili nel tempo assecondando le diverse esigenze di rete dei Paesi, ed installazioni su reti elettriche di bassa capacità che non permetterebbero l'installazione di grandi centrali.

La bassa proliferazione nucleare li rende proponibili dal punto di vista della security, un tema

	$f_0 = f_n =$	50 Hz
	$f_{\text{limite, protezioni}} = f_p =$	49,5 Hz
	Potenza erogata nominale = $P_{gn} = P_m =$	16000 MW
	Potenza erogata = $P_g =$	10000 MW
	Deficit di potenza $\delta P = \Delta P_g =$	-6000 MW
	tempo di avviamento o tempo di rallentamento e fermata turbogeneratori $t_A =$	45 s
	$t_p/t_A =$	0,05
	tempo di scatto delle protezioni in frequenza $t_p =$	2,4 s
	$\frac{t_p}{t_A} = \left(\frac{f_p^2}{f_n^2} - 1\right) \cdot \frac{P_{g,n}}{P_g - P_r} = \left(\frac{49,5^2}{50^2} - 1\right) \cdot \frac{16000}{10000 - 16000} = 0,05$	

Tabella 5  
tempo di scatto delle protezioni elettriche in frequenza

sempre più determinante oggi, mentre la semplicità di funzionamento ed i lunghi tempi di ricarica del combustibile ne permettono l'esercizio in realtà non tecnologicamente avanzate. La flessibilità di produzione elettrica, termica e di servizio/processo ne consente usi socialmente ed eticamente positivi come la dissalazione o il teleriscaldamento.

Gli SMR si collocano come fore-runner dei reattori di IV generazione in quanto già aumentano notevolmente la sostenibilità dell'energia nucleare in termini di utilizzazione delle risorse naturali e minimizzazione dei rifiuti radioattivi.

Certamente, gli iter autorizzativi per la costruzione di impianti piccoli e semplici, ma pur sempre critici, dovranno essere standardizzati e velocizzati, visto il numero di impianti occorrenti per fornire la dorsale elettrica ad un Paese.

In ultimo, i prototipi di SMR di tipo "marino", sia sommerso sia galleggiante, sono da seguire con interesse e curiosità perché potrebbero risolvere la problematica eventualmente legata all'installazione a terra ed aumentare così di molto la disponibilità dei Paesi all'uso dell'energia nucleare da Small Modular Reactors.

La Commissione nucleare, ad ogni modo, si pone come gruppo esperto di riferimento per ulteriori aggiornamenti ed approfondimenti sull'ingegneria dei sistemi SMR e sulla loro applicazione ad un piano energetico nazionale integrato a basso impatto ambientale.

#### Elenco degli acronimi

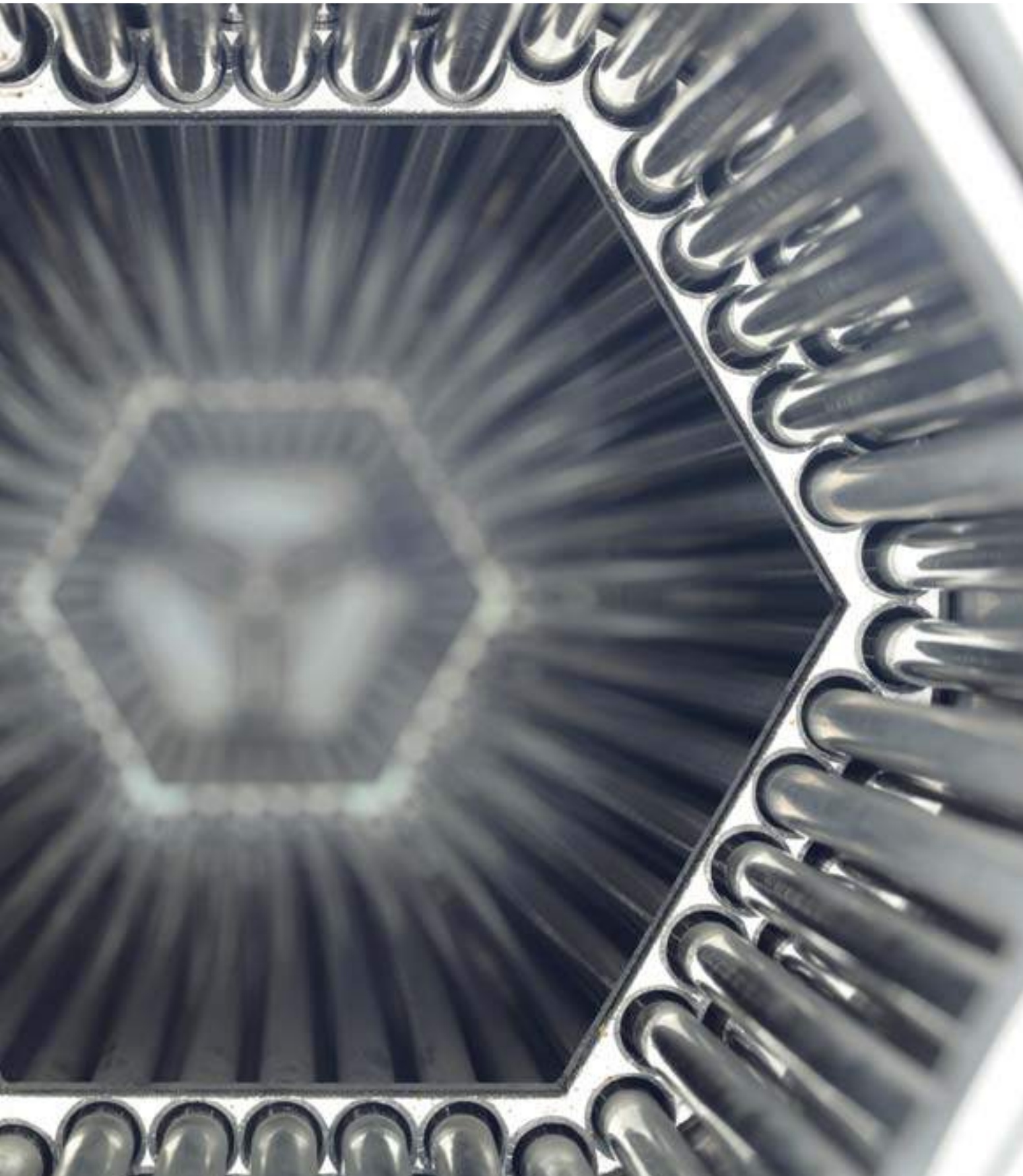
<b>BWR:</b>	Boiling Water Reactor
<b>CRDM:</b>	Control Rod Drive Mechanism
<b>ECCS:</b>	Emergency Core Cooling System
<b>FBR:</b>	Fast Breeder Reactor
<b>FER:</b>	Fonte Energia Rinnovabile
<b>HTGR:</b>	High Temperature Gas Reactor
<b>iPWR:</b>	Integral PWR
<b>LBLOCA:</b>	Large Break Loss of Cooling Accident
<b>LFR:</b>	Liquid Fast Reactor Lead-cooled Fast Reactor
<b>LMFBR:</b>	Liquid Metal Fast Breeder Reactor
<b>LWR:</b>	Light Water Reactor
<b>MSR:</b>	Melted Salts Reactor
<b>PWR:</b>	Pressurized Water Reactor
<b>RPV:</b>	Reactor Pressure Vessel
<b>SBLOCA:</b>	Small Break Loss of Cooling Accident

#### Fonti

ENEA  
Wikipedia: libera Enciclopedia telematica







### Bibliografia italiana ed internazionale

- Cumo M., Impianti Nucleari, 2° Ed., Roma, Casa Editrice Università La Sapienza, 2012
- Rowinski M. K., White T. J., Zhao J., "Small and Medium sized Reactors (SMR): A review of technology", in Renewable and Sustainable Energy Reviews 44 (2015) 643–656
- IAEA-TECDOC-1451, "Innovative small and medium sized reactors: Design features, safety approaches and R&D trends", in Final report of a technical meeting held in Vienna, 7–11 June 2004
- G. Forasassi, R. Lo Frano, V. Baudanza, F. Orlandi, "Valutazione del comportamento incidentale di reattori SMR", in ENEA Report RdS/2012/013, Settembre 2012
- C. Lombardi, Impianti Nucleari, Polipress Milano, 2009
- L. Ferroni, F. Giannetti, D. V. Di Maio, V. Covicchio, A. Cammi, S. Lorenzi, R. Ponciroli, Studi di sostenibilità volti a massimizzare l'utilizzo del combustibile e a minimizzare le scorie nucleari con i sistemi veloci refrigerati a piombo, Roma-Milano, 21 Settembre 2014
- Francesco R., Economia Neutronica dei Reattori Autofertilizzanti Veloci (FBRs) Ciclo del combustibile torio-uranio, Università degli Studi di Pavia, 2011
- Mansani L., "ELFR the European Lead-cooled Fast Reactor", in Training Course on Seismic Protection of Lead-cooled Reactors, Palazzo Camozzini, Verona, May 21-25, 2012
- Grasso G., Agostini P., "The Materials Challenge for LFR core design", in Liquid Metal Reactor Concepts: Core Design and Structural Materials IAEA HQ, Vienna, June 12-14, 2013
- FALCON, "Un consorzio per la costruzione di un reattore veloce refrigerato a piombo di IV Generazione in Romania", in PowerGeneration news, n. 1 Aprile 2014, 3-4, 2014
- "L'impegno di Ansaldo Nucleare nello sviluppo della IV generazione di reattori", in PowerGeneration news, n. 1 marzo 2013, 13-15, 2013 Daniele Salvatore Schiera Bibliografia Pag. 134
- R. Ponciroli, A. Cammi, S. Lorenzi, L. Luzzi, "A preliminary approach to the ALFRED reactor control strategy", in Progress in Nuclear Energy 73 (2014) 113-128
- C. Petrovich, K. Mikityuk, F. Manni, D. Gugiu, G. Grasso, ALFRED core. Summary, synoptic tables, conclusions and recommendations, DEL 027 – 2013, ENEA 2013
- G. Grasso, C. Petrovich, D. Mattioli, C. Artioli, P. Sciora, D. Gugiu, G. Bandini, E. Bubelis, K. Mikityuk, "The core design of ALFRED, a demonstrator for the European lead-cooled reactors", in Nuclear Engineering and Design 278 (2014) 287–301
- D. Rozzia, A. Del Nevo, M. Tarantino, P. Gaggini, D. Vitale Di Maio, G. Caruso, L. Gramiccia, "Fornitura scambiatore di calore a tubi a baionetta", in ENEA Report RdS/ 2013/045, 2013
- Alemberti, "ALFRED The EUROPEAN Lead Fast Reactor Demonstrator", in The 5th Annual International Conference on Sustainable Development through Nuclear Research and Education, 16-18 May 2012, Pitesti, Romania 2012
- Alemberti, M.L. Frogheri, S. Hermsmeyer, L. Ammirabile V. Smirnov, M. Takahashi, C.F. Smith, Y. Wu, I.S. Hwang, Lead-cooled Fast Reactor (LFR) Risk and Safety Assessment White Paper, GIF Revision 8 - April 2014
- Aumeier et al., September 2011 S. Aumeier, T. Baldwin, R. Boardman, R. Cherry, H. Garcia, D. Grauer Grid scale hybrid energy system: integrating nuclear and renewable power generation with fuels production Presentation at the 2011 NREL Strategic Planning and JISEA Nuclear and Renewable Energy Synergies Woshop (September 2011) Baxi et al., 2008
- C.B. Baxi, A. Telengator, J. Razvi Rotor scale model tests for power conversion unit of GT-MHR Nuclear Engineering and Design, 238 (11) (2008), pp. 2995-3001 Blnn and June 12, 2012
- Ryan Blnn Westinghouse small modular reactor design and application A Presentation to Canadian Nuclear Society (June 12, 2012)
- Dwight Clayton, Richard Wood The role of instrumentation and control technology Enabling Deployment of Small Modular Reactors, Seventh American Nuclear Society International Topical Meeting on Nuclear Plant Instrumentation, Control and Human-machine Interface Technologies NPIC&HMIT 2010 (November 7–11, 2010) Las Vegas, Nevada John Ferrara The mPower Line Commission (August 10, 2012) R. Fetterman, M. Smith, A. Harkness, et al. The Westinghouse SMR nuclear engineering International, vol. 57 (692) (2012), pp. 16-19
- A. Halfinger Jeff, D. Haggerty Michael The B&W mPower scalable, practical nuclear reactor design Nuclear Technology, 178 (2) (2012), pp. 164-169
- D.E. Holcomb, D. Ilas, A.L. Qualls Current status of the advanced high temperature reactor Proceedings of ICAPP '12 Chicago, USA (June 24–28, 2012)

IAEA, 5 – 9 December 2011 Workshop on SMR Technology Assessment for Near Term Deployment (5–9 December 2011)

IAEA-TECDOC-1668 Assessment and Management of Ageing of Major Nuclear Power Plant Components Important to Safety: Steam Generators International Atomic Energy Agency, Vienna (2011)

D.T. Ingersoll Deliberately small reactors and the second nuclear era Progress in Nuclear Energy, 51 (2009), pp. 589-603  
D.T. Ingersoll Overview of NuScale technology 33rd Annual CNS Conference (June 12, 2012)

International Atomic Energy Agency Design Features to Achieve Defence in Depth in Small and Medium Sized Reactors IAEA Nuclear Energy Series Report NP-T-2.2, Vienna (2009)

Ioannis N. Kessides, Vladimir Kuznetsov Small modular reactors for enhancing energy security in developing countries Sustainability, 4 (2012), pp. 1806-1832

Kyung Min Kim, Byoung In Lee, Donghwi Lee, et al. Experimental and numerical study on local pressure distributions in a system-integrated modular reactor Annals of Nuclear Energy, 47 (September 2012), pp. 216-224

L.J. Lommers, F. Shahrokhi, J.A. Mayer AREVA HTR concept for near-term deployment Nuclear Engineering and Design, 251 (10) (2012), pp. 292-296

M. Hadid Subki IAEA Programme on common technology and issues for SMRs Workshop on SMR Technology Assessment for Near Term Deployment (5–9 December 2011)

Matthew C. Smith, Richard F. Wright Westinghouse small modular reactor. Passive safety system response to postulated events Proceedings of ICAPP (2012), pp. 1001-1006

Nuclear Engineering International B&W Unveils Its New Modular Reactor (11 June 2009) <http://www.neimagazine.com/story.asp?storyCode=2053239> OECD/IEA Energy Technology Perspectives 2012 Paris, France (2012)

Operational & Long-term Shutdown Reactors (Oct, 27, 2012) <http://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByCountry.aspx> Park, 10–14 October 2011

Keun Bae Park SMART-an Early Deployable Integral Reactor for Multi-purpose Applications INPRO Dialogue Forum on Nuclear Energy Innovations: CUC for Small & Medium-sized Nuclear Power Reactors (10–14 October 2011) (Vienna, Austria)

POWERnews and February 23, 2011 POWERnews Westinghouse Launches Small Modular Reactor Design (February 23, 2011)

J.N. Reyes Overview of NuScale Technology Workshop on Technology Assessment of Small and Medium-sized Reactors (SMRs) for Near Term Deployment IAEA Headquarters (5–9 December 2011) Vienna, Austria

J.N. Reyes Jr., P. Lorenzini NuScale power: a modular, scalable approach to commercial nuclear power Nuclear News, 6 (2012), pp. 97-103

Robert J. Fetterman, Alexander W. Harkness, Matthew C. Smith An Overview of the Westinghouse small modular reactor

ASME 2011 Small Modular Reactors Symposium (SMR2011) (September 28–30, 2011), pp. 75-82 Washington, DC, USA

J. Simpson Nuclear Power from Underseas to Outer Space American Nuclear Society (1995)

K. Singh, I. Rampall, J. Rajkumar On the Thermal-hydraulic Essentials of the Holtec Inherently Safe Modular Underground Reactor (HI-SMUR) System ASME (2011), pp. 95-106 Small Modular Reactors Symposium (SMR2011)

Small Nuclear Power Reactors. <http://www.world-nuclear.org/info/inf33.html> Updated September 2012. Status of Small Reactor Designs without On-site Refuelling, IAEA, Vienna (2007)

The Gen4 Module (G4M). <http://www.gen4energy.com/>. The U.S. Department of Energy's Office of Nuclear Energy Small Modular Reactors (February 15, 2011)

B.S. Triplett, E.P. Loewen, B.J. Dooies Prism: a competitive small modular sodium-cooled reactor Nuclear Technology, 178 (2) (2012), pp. 186-200

U.S. Department of Energy Technology Readiness Assessment Guide (Sep 15, 2011)

U.S. NRC NuScale Project Overview (April 19, 2012) <http://www.nrc.gov/reactors/advanced/nuscale.html> Page Last Reviewed/Updated Thursday

US.NRC B&W mPower™ Project Overview (July 10, 2012) <http://www.nrc.gov/reactors/advanced/mpower.html>

J. Vujic', R.M. Bergmann, R. Škoda, et al. Small modular reactors: simpler, safer, cheaper?

Energy, 45 (1) (2012), pp. 288-295



# Il collaudo di un sistema informatico

a cura di Ing. Massimo Di Carlo

**1.** Nell'ambito delle attività tipiche della professione di Ingegnere un importante aspetto è lo svolgimento di collaudi di opere di ingegneria per verificarne la corrispondenza ai requisiti definiti dal committente o derivati da normative e regolamenti (tra cui per esempio i requisiti di sicurezza). Anche nel campo dell'Ingegneria del software il collaudo riveste un'importanza decisiva per garantire la qualità del prodotto.

I sistemi software sono parte integrante della vita, dalle applicazioni aziendali (ad es. bancarie), ai prodotti di consumo (ad es. le automobili).



Il software è ormai presente in tutte le attività quotidiane e ci affidiamo di continuo a sistemi il cui nucleo centrale è formato da applicazioni software ed è difficile immaginare di vivere senza di esso in molte delle nostre attività professionali o nella vita di tutti i giorni. Pensiamo per esempio ai rapporti bancari oggi utilizzati per lo più tramite ATM e da casa via computer o con app su smartphone, oppure all'acquisto di biglietti per viaggi o per spettacoli.

Il software è diventato così pervasivo che quando ha un malfunzionamento le nostre attività giornaliere ne sono altamente impattate. Se questo vale a livello personale ancora più drammatici sono

gli effetti di anomalie per il business delle aziende: la perdita di denaro, di tempo, di reputazione aziendale e persino infortuni o morte (pensiamo ad esempio ai sistemi di guida e controllo dei veicoli aerei, ai sistemi di controllo delle centrali di produzione di energia, ai sistemi di sicurezza e di controllo delle automobili).

Dai dati relativi al 2017 riportati dal Software Fail watch (<https://www.tricentis.com/software-fail-watch/>) - redatto in base alle notizie di failure del software apparse in articoli in lingua inglese e facendo una stima conservativa (si basa solo sulle notizie conosciute, quindi senza contare incidenti non venuti alla luce) - le perdite causate da errori nel software nel 2017 sono pari a 1,715,430,778,504 dollari.



*FAILURE=un evento in cui un componente o un sistema non esegue una richiesta funzionalità all'interno di limiti determinati (dal glossario ISTQB).*

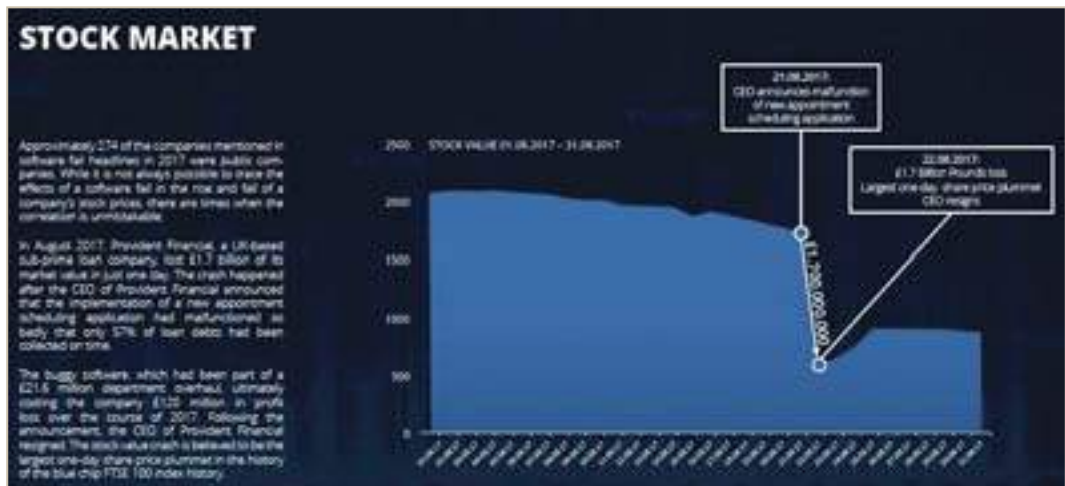
Nel report ci sono degli esempi rilevanti di impatti sul business delle aziende.

Circa 274, tra le aziende menzionate nei titoli relativi a failure del software, sono public company. Anche se non è sempre possibile tracciare gli effetti di un incidente provocato dal software sull'andamento dei titoli in borsa c'è un esempio in cui tale correlazione è chiara.

Nell'agosto 2017, Provident Financial, un'azienda britannica di prestiti sub-prime, ha perso 1,7 miliardi di sterline del suo valore di mercato in un solo giorno. Il crollo è avvenuto dopo che il CEO dell'azienda ha annunciato che l'implementazione di una nuova applicazione di gestione degli appuntamenti aveva funzionato così male che solo il 57% dei debiti era stato raccolto entro la scadenza.

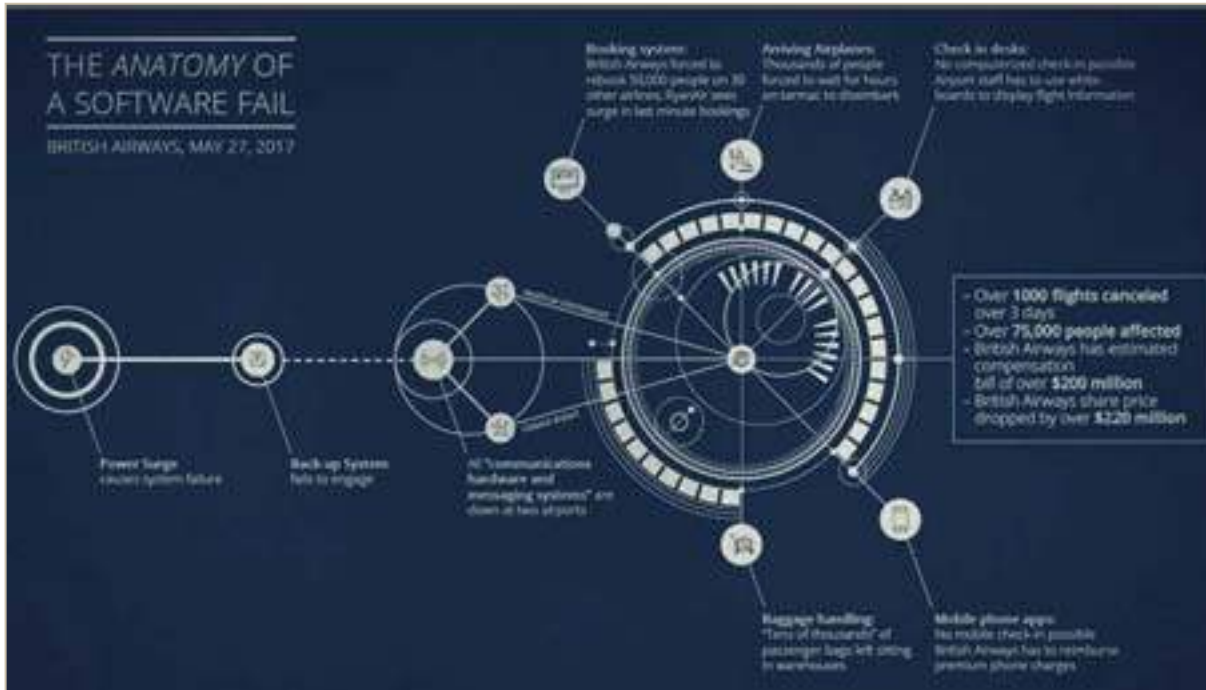
Il software difettoso, che faceva parte di una ristrutturazione dal costo di 21,6 milioni di sterline, è costato complessivamente alla società 120 milioni di perdite di profitto nel corso del 2017. Dopo l'annuncio, il CEO di Provident Financial si è dimesso. Il crollo del valore azionario si crede sia stato il tonfo più grande in un solo giorno della storia dell'indice FTSE 100 blu chip.

Un altro esempio di un pesante impatto sul business ha coinvolto la compagnia aerea British Airways

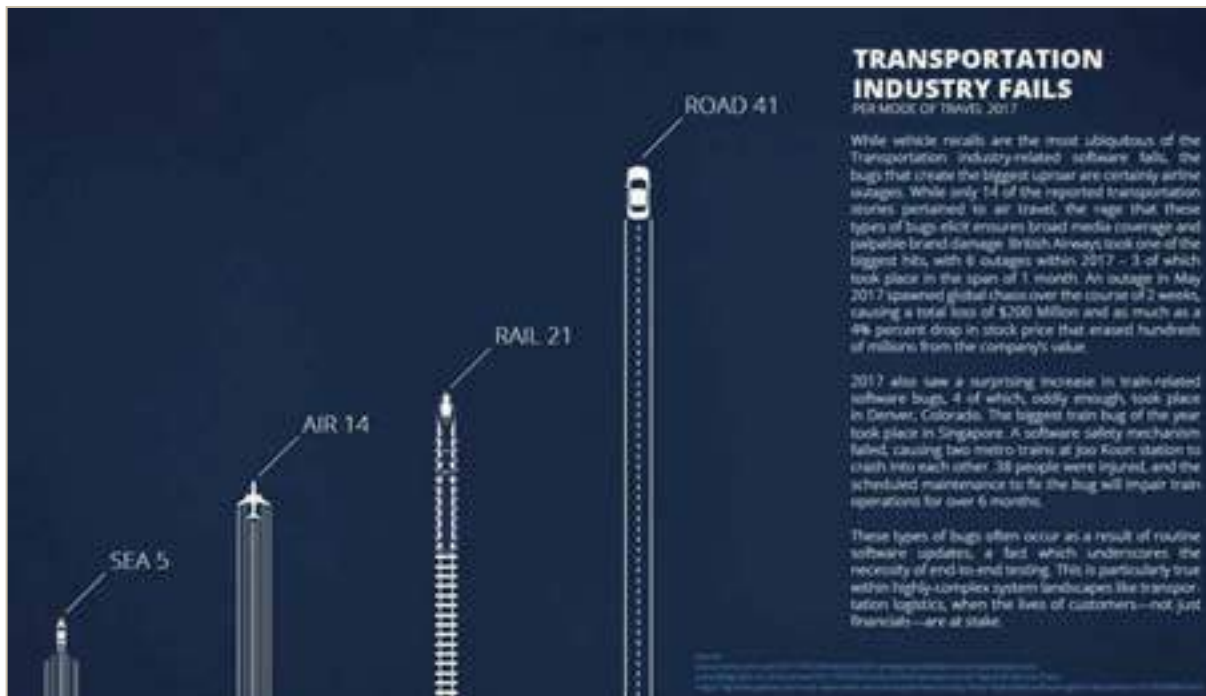




nel maggio 2017: un difetto nel software ha comportato la cancellazione di 100 voli in 3 giorni, ha coinvolto 75.000 persone e una perdita di 200 milioni di sterline solo legati ai rimborsi. I dati completi nella figura seguente.



Nella figura seguente si può inoltre vedere una sintesi degli incidenti nel settore dei trasporti.



Ci sono anche dei fallimenti storici nel campo dei voli spaziali:

Il razzo Ariane 5 ha riutilizzato la stessa piattaforma inerziale del precedente Ariane 4. Ma la maggiore accelerazione orizzontale dell'Ariane 5 ha provocato un crash dei sistemi a causa del tentativo di inserire un dato a 64 bit in una variabile a 16 bit portando a valori errati nel sistema di guida con conseguente perdita del vettore.

Nella sua missione verso Marte nel 1998 il Climate Orbiter spacecraft si è in pratica perso nello spazio a causa della mancata conversione da unità di misure inglesi verso il sistema metrico. L'errore ha provocato la mancata entrata in orbita della sonda costata 125 milioni di dollari che si è andata a perdere in un'orbita intorno al sole.

La sonda Mariner 1, in missione verso Venere nel 1962, era appena partita da Cape Canaveral quando un baco nel software ha provocato una virata che rischiava di far schiantare il razzo sulla Terra con conseguente invio del comando di autodistruzione da parte del centro di controllo per non provocare danni gravi. Successivamente si è visto che il problema era stato provocato dalla mancanza di un trattino nelle istruzioni del codice. Il costo del razzo è stato indicato come 18 milioni di dollari dell'epoca.

Si possono trovare questi e altri esempi a que-

sto link: <https://raygun.com/blog/costly-software-errors-history/>

**2.** Per ridurre la probabilità di incorrere in incidenti come quelli riportati e ridurre di conseguenza le perdite in termini economici – oltreché evidentemente di vite umane - è necessario applicare, anche nell'ambito della produzione del software, standard e metodologie che migliorino la qualità dell'intero ciclo di sviluppo del software dalla fase di analisi e progettazione, alla realizzazione, al collaudo.

Se le fasi alte di progettazione e realizzazione sono viste come fasi in cui sono necessari standard e professionalità elevati per migliorare la qualità, la fase di collaudo purtroppo è quella che ancora troppo spesso non riceve la giusta importanza e di cui non si comprende quanto sia fondamentale per migliorare la qualità dei prodotti. In realtà nel campo dello sviluppo software quello che manca è proprio una cultura diffusa del collaudo: scopo, obiettivi, metodi e tecniche.

Negli anni si sono fatti passi avanti, ma vediamo cosa dice **Glenford J. Myers** - uno dei maggiori esperti sul tema del collaudo del software - nell'introduzione del suo libro che è un po' il testo sacro del software testing ("The Art of Software Testing" - 2011):

"Given these facts, you might expect that by





this time program testing would have been refined into an exact science. This is far from true. In fact, less seems to be known about software testing than about any other aspect of software development. Furthermore, testing has been an out-of-vogue subject—it was true when this book was first published (1979 *n.d.a.*) and, unfortunately, it is still true today (2011 *n.d.a.*). Today there are more books and articles about software testing, meaning that, at least, the topic has greater visibility than it did when this book was first published. But testing remains among the “dark arts” of software development”.

Quindi nel mondo dell'ingegneria del software non si è ancora consolidata in modo pervasivo una cultura del collaudo del software, né una diffusione adeguata delle necessarie professionalità. C'è ancora scarsa attenzione anche in ambito universitario. Così scrive ancora Myers: “At various times, we have heard professors and teaching assistants say, “Our students graduate and move into industry without any substantial knowledge of how to go about testing a program. Moreover, we rarely have any advice to provide in our introductory courses on how a student should go about testing and debugging his or her exercises.” So, the purpose of this updated edition of *The Art of Software Testing* is the same as it was in 1979: to fill these knowle-

dge gaps for the professional programmer and the student of computer science”.

Lo stesso concetto è espresso da Rex Black nel suo libro “Managing the Testing Process” (2011): “When I first started working as a test engineer and test project manager, I was a testing ignoramus - ... -Unfortunately, my university professors didn't teach about testing, even though Boris Beizer, Bill Hetzel, and Glenford Myers had all published on the topic prior to or during my college career. As software engineering enters its sixth decade, that has begun to change. However, even at prestigious universities the level of exposure to testing that most software-engineers-in-the-making receive remains too low”. Viste le problematiche e i relativi pesanti costi che possono derivare dagli insuccessi è decisivo che penetri in modo esteso la cultura del testing come parte essenziale del processo di sviluppo e che si formino professionisti del test che conoscano ed applichino metodologie e tecniche del test adatte allo specifico ambito.

Vediamo di seguito un rapido excursus sugli scopi, i principi, i metodi e le tecniche principali del software testing, partendo, anzitutto, da cosa si intende per collaudo del software:

“Software testing is a process, or a series of processes, designed to make sure computer code does what it was designed to do and that it does







not do anything unintended. Software should be predictable and consistent, offering no surprises to users" (Myers, cit.).

In sintesi, il testing di un Sistema Informatico è un processo di controllo che consente di evidenziare errori indotti dal processo produttivo, anticipando e minimizzando l'impatto degli interventi correttivi.

È quindi un modo per valutare la qualità del software e per ridurre il rischio di suoi malfunzionamenti.

Il collaudo del software si pone due obiettivi: verifica e validazione:

- Verifica: risponde alla domanda: "stiamo sviluppando il sistema correttamente?"  
Il software deve soddisfare le specifiche
- Validazione: risponde alla domanda: "stiamo sviluppando il prodotto corretto?"  
Il software deve fare quello che l'utente realmente richiede.

È importante definire esattamente lo scopo del test in quanto una delle cause principali di un testing non ben fatto consiste nell'approccio che si ha anche dal punto di vista psicologico se si parte da false definizioni del testing come ad esempio:

- "Il testing è un processo per dimostrare che non sono presenti errori"
- "Obiettivo del testing è mostrare che un programma esegua correttamente le funzioni per cui è stato realizzato"
- "Il testing è un processo per stabilire la confidenza che un programma fa quello che deve fare."

Queste definizioni sono da rovesciare perché altrimenti l'approccio mentale sarebbe nel senso di cercare di dimostrare quanto affermato, cioè in sintesi che il sistema funziona come previsto. Inoltre, la prima frase "...non sono presenti errori" è impossibile da realizzare perché non è possibile eseguire il software in tutte le molteplici condizioni di funzionamento.

Quindi possiamo definire che **scopo del collaudo** è trovare i difetti per ridurre il rischio di malfunzionamenti durante l'uso in esercizio, tenendo conto che un Testing che elimina tutti gli errori è impossibile.

In un mondo ideale, si vorrebbe poter testare ogni possibile permutazione dei dati di input di un programma, ma in pratica non è mai possibile. Anche un semplice programma può avere centinaia o migliaia di possibili combinazioni di



input e output. Creare dei casi di test per tutte queste combinazioni è impraticabile. Testare completamente applicazioni complesse richiederebbe tempi troppo lunghi e troppe risorse per essere economicamente sostenibile.

Pertanto, l'unico obiettivo che ci si può porre è ridurre il rischio e fissare degli obiettivi per il test in modo tale da minimizzare i rischi e i costi.

Si deve quindi porre come obiettivo del test il raggiungimento di un livello di rischio accettabile, valutando l'impatto sugli utenti di un possibile malfunzionamento.

L'impatto in caso di occorrenza di un evento negativo è spesso inteso come la gravità degli effetti sugli utenti, sui clienti o sugli altri stakeholder: in altre parole, come rischio di business. Per valutare il livello di rischio accettabile si deve identificare e valutare il potenziale impatto sul dominio di business o sugli utenti per ogni elemento di rischio.

Tra i fattori che influenzano il rischio di business ci sono:

- Frequenza di utilizzo delle funzionalità interessate
- Dimensioni della perdita di business
- Potenziali responsabilità o perdite finanziarie, ecologiche o sociali
- Sanzioni legali civili o penali
- Preoccupazioni sulla sicurezza
- Visibilità della funzione del sistema impattata
- Visibilità del difetto che induce una pubblicità negativa e un potenziale danno d'immagine
- Potenziale perdita di clienti.

In base all'impatto potenziale del rischio residuo si può valutare quanto investire nel collaudo per cercare di raggiungere un punto di massima riduzione del rischio e di minimizzazione dei costi.

Nella figura seguente è esemplificato questo concetto; la curva del costo delle conformità rappresenta il costo di tutte le attività eseguite per aumentare la qualità del prodotto. La curva del costo delle non conformità rappresenta il

costo degli effetti del rischio residuo. Più alta è la qualità minore è il rischio residuo del prodotto. L'ottimo si ottiene quando si ha il massimo della riduzione del rischio al minor costo.

Definito il livello di rischio si devono definire dei criteri di arresto del collaudo in modo da raggiungere gli obiettivi prestabiliti.

I criteri d'arresto sono definiti per il progetto a livello del piano di qualità o di un più specifico piano di test e collaudo, che predetermina l'ottimale ripartizione delle risorse economiche, umane e strumentali fra le differenti entità da testare, fra le differenti attività e nell'acquisto degli strumenti. Un criterio di arresto consiste per esempio nello stimare il numero di errori attesi e confrontare tale valore con il numero di quelli riscontrati, basando il criterio d'arresto su questo e non solo sul rispetto di tempi e budget.

Molto spesso quindi si definisce una soglia di accettabilità oltre la quale si passa a testare altre entità. In casi particolari, quando si testano moduli critici per il buon funzionamento del sistema informatico, l'assenza di malfunzionamenti riscontrati non va interpretata come assenza di difetti, ma come scarsa idoneità od efficacia delle tecniche di test utilizzate (ovvero come mancanza di padronanza delle stesse). Si rende quindi necessaria la ripetizione di attività di progettazione e preparazione dei casi di test che si ritenevano concluse e non della sola esecuzione, onde arricchire e rendere più probante il superamento di una sessione.

Quanto sopra indicato e gli altri principi base sul software testing si possono sintetizzare nei 7 principi del testing (dal Syllabus Livello "Foundation" – versione 2018 – ITASTQB).

### Principio 1

#### Il testing mostra la presenza di difetti

Il testing può mostrare la presenza di difetti, ma non può provarne l'assenza. Il testing riduce la probabilità della presenza di difetti non rilevati nel software, ma il fatto che nessun difetto venga trovato, non è una prova di correttezza, ovvero di assenza di difetti.

### Principio 2

#### Il testing esaustivo è impossibile

Testare tutto (tutte le combinazioni di input e precondizioni) non è possibile tranne che per casi banali. Piuttosto che tentare di testare in modo esaustivo, è necessario utilizzare l'analisi del rischio, le tecniche di test e le priorità per concentrare gli effort di testing.

### Principio 3

#### Il testing anticipato permette di risparmiare tempo e denaro

Per individuare tempestivamente i difetti è necessario avviare quanto prima le attività di testing statico e dinamico nel ciclo di vita dello



sviluppo software. Testare all'inizio del ciclo di vita dello sviluppo del software aiuta a ridurre o eliminare costose modifiche successive.

**Principio 4**  
**I difetti tendono a formare cluster**

Un numero limitato di moduli solitamente contiene la maggior parte dei difetti scoperti durante i test prima del rilascio o è responsabile della maggior parte delle failure operative. I cluster dei difetti previsti e quelli effettivamente osservati in fase di test o di esercizio sono un input importante per un'analisi del rischio al fine di concentrare l'effort di testing (come menzionato nel principio 2).

**Principio 5**  
**Attenzione al paradosso pesticida**

Se gli stessi test sono ripetuti più e più volte, presumibilmente tali test non troveranno nessun nuovo difetto. Per rilevare nuovi difetti, i test esistenti e i dati di test potrebbero necessitare di modifiche e potrebbe essere necessario progettare nuovi test (i test non risultano più efficaci nel trovare difetti, proprio come i pesticidi non risultano più efficaci nell'uccidere gli insetti dopo un utilizzo protratto nel tempo).

**Principio 6**  
**Il testing è dipendente dal contesto**

Il testing viene eseguito in modo differente in contesti differenti. Per es. un software safety-critical viene testato in modo differente da una app mobile di commercio elettronico. Come altro

esempio, il testing in un progetto Agile viene condotto in modo diverso rispetto al testing di un progetto con ciclo di vita sequenziale.

**Principio 7**  
**L'assenza di errori è una falsa credenza**

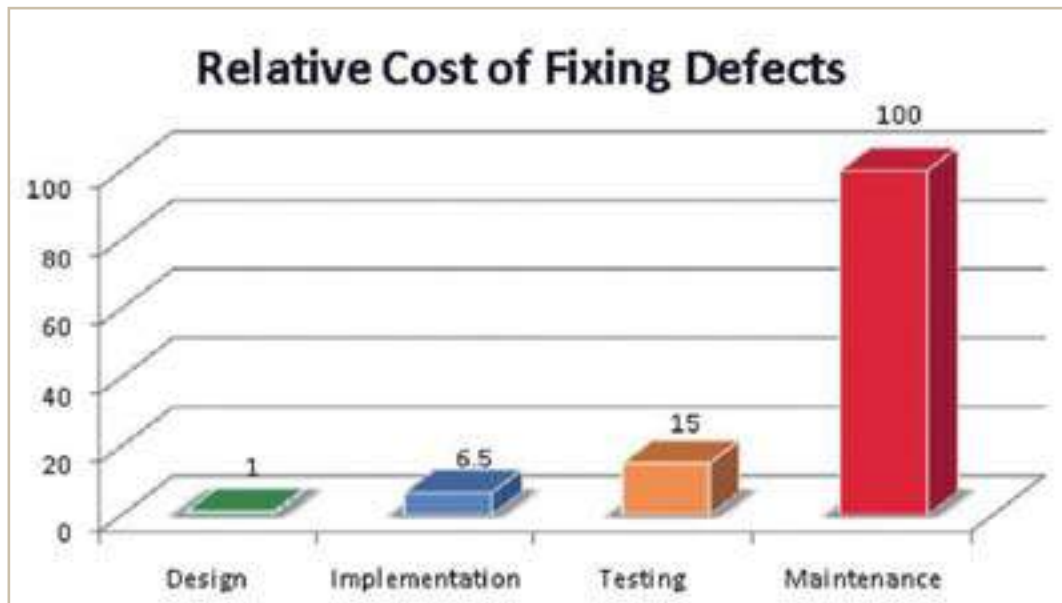
Alcune organizzazioni si aspettano che i tester possano eseguire tutti i test possibili e trovare tutti i possibili difetti, ma i principi 2 e 1 ci dicono che questo è impossibile. Inoltre, non è corretto aspettarsi che il solo trovare e risolvere un gran numero di difetti garantisca il successo di un sistema. Ad es. testare accuratamente tutti i requisiti specificati e correggere tutti i difetti rilevati potrebbe ancora produrre un sistema che sia difficile da usare, che non soddisfi i bisogni e le aspettative degli utenti o che risulti meno valido rispetto ad altri sistemi concorrenti.

**3.** È importante sottolineare quanto sopra indicato dal principio 3.

Le attività di testing devono iniziare quanto prima nel corso del ciclo di vita dello sviluppo del software per poter intercettare il prima possibile un difetto. Infatti, un difetto – o una non conformità rispetto al comportamento atteso – può derivare da una specifica dei requisiti utente errata, ambigua o incompleta, oppure dalla mancata comprensione di un requisito e quindi nella sua traduzione in una specifica funzionale errata, oppure da errori inseriti nel codice.

I difetti possono essere introdotti in qualsiasi punto del ciclo di vita ed in qualsiasi prodotto software correlato. Pertanto, ogni fase del ciclo

Fig 1 IBM System Science Institute





di vita dello sviluppo software dovrebbe includere attività per rilevare e rimuovere potenziali difetti. Ad esempio, le tecniche di test statici (per es. revisioni e analisi statica) possono essere utilizzate sulle specifiche dei requisiti, le specifiche di progettazione e il codice software, prima di consegnare questi prodotti per le attività successive. Quanto prima un difetto viene rilevato e rimosso, tanto minore è il costo complessivo della qualità per il sistema. Il costo della qualità è minimizzato quando ogni difetto viene rimosso nella stessa fase in cui è stata introdotto, cioè quando il processo di software raggiunge il livello di *contenimento di fase*.

Un esempio potrebbe essere quello di un requisito errato che è identificato durante il riesame dei requisiti e li viene corretto. Questo non è solo un uso efficiente della revisione dei requisiti, ma impedisce anche che il difetto causi del lavoro in più che lo renderebbe più costoso. Infatti, se un requisito non corretto sfugge al riesame dei requisiti e viene successivamente implementato dagli sviluppatori, testato senza essere scoperto e rilevato dall'utente durante il test di accettazione, tutto il lavoro svolto su tale requisito costituisce uno spreco di tempo e di risorse.

Nella figura 1 si può vedere la proporzione tra i costi di risoluzione di un difetto nelle varie fasi del ciclo di vita del software posto a 100 il costo di rimozione nella fase di manutenzione quindi quando il software è già stato rilasciato in esercizio.

(<https://www.jrothman.com/articles/2000/10/what-does-it-cost-you-to-fix-a-defect-and-why-should-you-care/>).

Per i motivi su elencati, è importante che un professionista nel campo del test del software abbia familiarità con i modelli del ciclo di vita dello sviluppo software, in modo che per ogni fase possano essere condotte le attività di test più adeguate.

In ogni modello del ciclo di vita dello sviluppo

software, ci sono diversi punti da considerare per un testing efficace:

- Per ogni attività di sviluppo, esiste una corrispondente attività di test
- Ogni livello di test ha obiettivi di test specifici per quel livello
- L'analisi e la progettazione per un determinato livello di test iniziano durante la corrispondente attività di sviluppo
- Le persone del gruppo di collaudo partecipano agli incontri per definire e perfezionare i requisiti e la progettazione e sono coinvolti nella revisione dei prodotti di lavoro (ad es. requisiti, progettazione, user story, ecc.) non appena siano disponibili delle loro bozze.

I comuni modelli del ciclo di vita dello sviluppo del software si possono classificare come:

- Modelli di sviluppo sequenziali
- Modelli di sviluppo iterativi e incrementali.

Un modello di *sviluppo sequenziale* descrive il processo di sviluppo del software come un flusso lineare e sequenziale di attività. Ciò significa che qualsiasi fase del processo di sviluppo deve iniziare quando la precedente fase è completata (figura 2).

Lo *sviluppo incrementale* comporta la definizione di requisiti, la progettazione, lo sviluppo e il testing di un sistema per parti, il che significa che le funzionalità del software crescono in modo incrementale. La dimensione di questi incrementi di funzionalità varia, con alcuni metodi che prevedono incrementi più grandi e altri più piccoli. Gli incrementi di funzionalità possono essere anche molto piccoli come una singola modifica a una schermata dell'interfaccia utente o una nuova opzione di query.

Lo *sviluppo iterativo* si adotta quando gruppi di funzionalità sono specificati, progettati, sviluppati e testati insieme, in una serie di cicli spesso di durata fissa. Le iterazioni possono

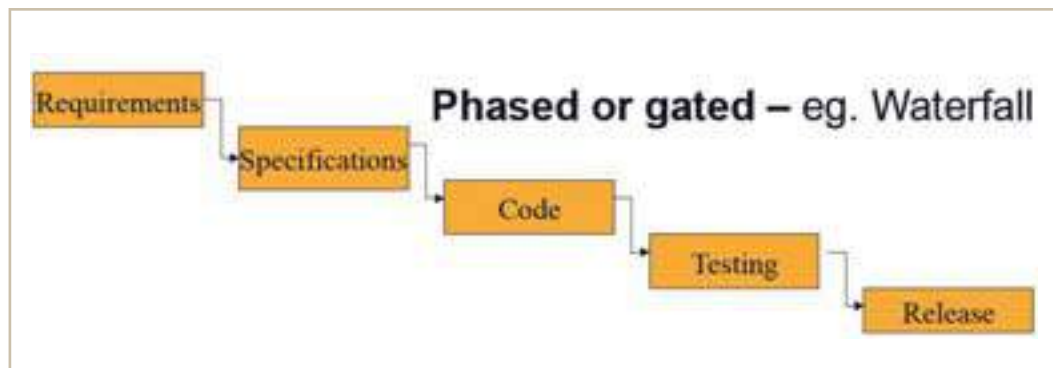


Fig 2

comportare modifiche alle funzionalità sviluppate nelle iterazioni precedenti, in linea con le modifiche nell'ambito del progetto. Ogni iterazione consegna un software funzionante, che è un sottoinsieme crescente dell'insieme complessivo delle funzionalità, fino al rilascio del software finale o all'interruzione dello sviluppo. Un esempio è lo sviluppo Agile (figura 3).

Tipici **modelli sequenziali** sono il **modello Waterfall** in cui le attività di sviluppo (ad es. analisi dei requisiti, progettazione, codifica, testing) sono completate una dopo l'altra. In questo modello le attività di test sono svolte solo dopo che tutte le altre attività di sviluppo sono state completate.

A differenza del modello Waterfall, il **modello a V** integra il processo di test durante tutto il processo di sviluppo, attuando il principio del testing anticipato. Inoltre, il modello a V include livelli di test associati a ciascuna fase di sviluppo corrispondente, supportando ulteriormente il testing anticipato. In questo modello l'esecuzione dei test associati a ciascun livello di test procede in sequenza, anche se alcuni casi si verificano sovrapposizioni (in figura 4 uno schema del modello a V).

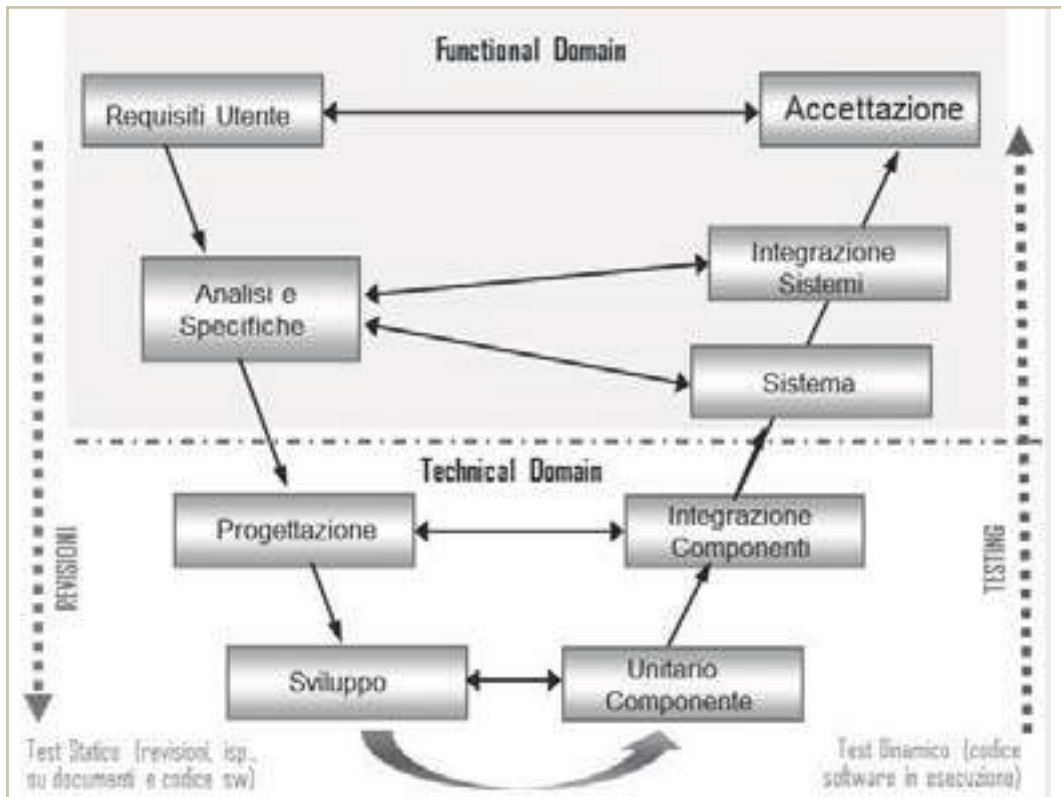
Il modello mostra la relazione tra ogni fase del ciclo di vita dello sviluppo del software e la sua fase di test. Ad ogni fase corrisponde un livello di test. Il prodotto della fase di sviluppo è l'input per la progettazione del test del corrispondente livello. Nel progettare il test si analizza il prodotto dello sviluppo riuscendo ad evidenziare eventuali problemi.

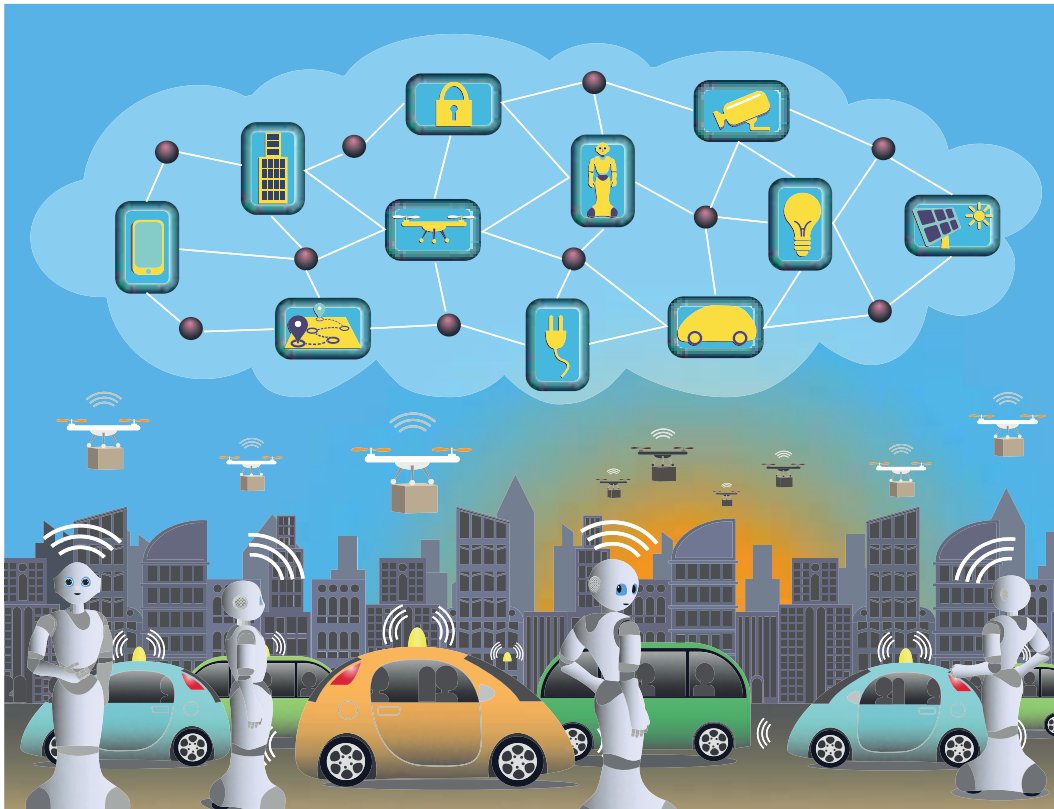
Per esempio per la progettazione dei test di accettazione si parte dai requisiti utente, in questo caso il tester può evidenziare l'ambiguità o la mancanza di un requisito se non riesce a

Fig 3



Fig 4 Schema del modello a V





comprenderlo o non ha sufficienti informazioni per scrivere un test consistente, individuando quindi un difetto prima che si propaghi alle fasi successive.

**4.** Abbiamo parlato di livelli di test, vediamo cosa si intende specificamente per Livello di Test.

#### **Livelli di Test**

I livelli di test sono gruppi di attività di test che sono organizzati e gestiti insieme. Ogni livello di test è un'istanza del processo di test con le relative attività svolte in relazione al software a un determinato livello di sviluppo (da singole unità o componenti a sistemi completi o a sistemi di sistemi).

I livelli di test di norma utilizzati sono:

- Testing di componente: vengono testati i singoli moduli
- Testing di integrazione: si integrano man mano i moduli per trovare eventuali problemi che nascono dalla loro interazione
- Testing di sistema: è il test di tutto il sistema completo quando tutti i componenti sono stati integrati
- Testing di accettazione: è il collaudo finale di solito svolto con il client o dal cliente stesso per verificare la corrispondenza con i requisiti.

Ci sono vari tipi di test che si possono svolgere ai vari livelli.

#### **Tipi di Test**

Un tipo di test è un gruppo di attività di test volte a testare caratteristiche specifiche di un sistema software o di una sua parte, sulla base di obiettivi di test specifici. Tali obiettivi includono:

- Valutare le caratteristiche di qualità funzionale, quali completezza, correttezza e appropriatezza
- Valutare le caratteristiche di qualità non-funzionali, quali affidabilità, efficienza prestazionale, sicurezza, compatibilità e usabilità
- Valutare gli effetti delle modifiche, ad es. confermando che i difetti sono stati corretti (testing confermativo) e cercando alterazioni involontarie nel funzionamento risultanti da modifiche software o di ambiente (testing di regressione).

Di norma si possono dividere in test funzionali e test non funzionali.

#### **Testing Funzionale**

I test funzionali di un sistema valutano le funzioni che il sistema deve eseguire. I requisiti funzionali possono essere descritti tramite specifiche dei requisiti di business, user story, casi d'uso o specifiche funzionali, oppure possono anche





non essere documentati. I test funzionali verificano “cosa” il sistema deve fare. I test funzionali dovrebbero essere eseguiti a tutti i livelli di test (ad es. i test di componente possono essere basati su una specifica dei componenti), sebbene l’ambito sia diverso per ogni livello.

Il testing funzionale considera il comportamento del software, quindi è possibile utilizzare tecniche black-box (vedi oltre) per derivare condizioni di test e casi di test relativi alla funzionalità del componente o del sistema.

#### *Testing Non-Funzionale*

Il test non-funzionali di un sistema valutano le caratteristiche di software e sistemi, come usabilità, efficienza prestazionale o sicurezza. Il testing non-funzionale è il testing di “quanto bene” si comporta il sistema.

Contrariamente alle comuni percezioni errate, il testing non-funzionale può, e spesso deve, essere svolto a tutti i livelli di test e il prima possibile. La scoperta tardiva di difetti non-funzionali può essere estremamente pericolosa per il successo di un progetto.

Le tecniche black-box possono essere utilizzate per ricavare condizioni di test e casi di test anche per il testing non-funzionale. Ad es. l’analisi al valore limite può essere utilizzata per definire le condizioni di stress per i test prestazionali.

Per le varie tipologie di test sono applicabili vari tecniche che hanno lo scopo di aiutare l’identificazione delle condizioni di test, dei casi di test e dei dati di test.

#### **Tecniche di testing**

Le tecniche di testing sono classificate come black-box, white-box o basate sull’esperienza.

Le tecniche di testing *black-box* (chiamate anche tecniche comportamentali o basate sul comportamento) si basano su un’analisi della base di test (ad es. documenti relativi a requisiti formali, specifiche, casi d’uso, user story o processi aziendali) e si concentrano sugli input e gli output dell’oggetto del test, senza riferimenti alla sua struttura interna.

Le tecniche di test *white-box* (chiamate anche tecniche strutturali o basate sulla struttura) si basano su un’analisi dell’architettura, della progettazione di dettaglio, della struttura interna o del codice dell’oggetto del test.

Le tecniche di test *basate sull’esperienza* sfruttano l’esperienza di sviluppatori, tester e utenti per progettare, implementare ed eseguire i test. Queste tecniche sono spesso combinate con il testing black-box e white-box.

Alcune tecniche sono meglio applicabili in determinate situazioni e a certi livelli di test, altre sono applicabili a tutti i livelli di test.

Tra le tecniche black-box abbiamo:



#### *Copertura delle classi di equivalenza*

La tecnica di Copertura delle classi di equivalenza consente di selezionare casi di test che, a fronte di una stessa condizione, sollecitano in maniera differente l'entità testata.

Per utilizzare la tecnica di Copertura delle classi di equivalenza bisogna suddividere l'insieme di tutti i possibili casi di input in "classi di equivalenza".

Dato un prodotto software e l'insieme di tutti i possibili valori di un suo dato di input, una "classe di equivalenza" è un sottoinsieme di questi valori tale che il comportamento previsto del prodotto è il medesimo per ciascun elemento del sottoinsieme.

#### *Analisi ai Valori Limite*

L'analisi ai valori limite è un'estensione del partizionamento di equivalenza, ma può essere utilizzata solo quando la partizione è ordinata, costituita da dati numerici o sequenziali. I valori minimo e massimo (o primo e ultimo valore) di una partizione sono i suoi valori limite. Questa tecnica nasce dal fatto che l'esperienza mostra quanto sia facile scrivere una istruzione di decisione e salto condizionato con la condizione limite esclusa ovvero inclusa erroneamente.

#### *Testing della Tabella delle Decisioni*

Le tecniche di test combinatorie sono utili per testare l'implementazione di requisiti di sistema

che specificano come diverse combinazioni di condizioni si traducano in risultati diversi. Un approccio a tale metodo di test è il testing della tabella delle decisioni.

#### *Testing delle Transizioni di Stato*

I componenti o i sistemi possono rispondere in modo diverso a un evento a seconda delle attuali condizioni o dello stato in cui sono a seguito di precedenti elaborazioni. Un diagramma di transizione di stato mostra i possibili stati del software e le transizioni da uno stato all'altro. Il cambiamento di stato può comportare l'azione del software (ad es. l'emissione di un calcolo o di un messaggio d'errore).

I test possono essere progettati per coprire una sequenza tipica di stati, per esercitare tutti gli stati, per esercitare ogni transizione, per esercitare specifiche sequenze di transizioni o per testare transizioni non valide.

#### *Testing dei Casi d'Uso*

I test possono essere derivati da casi d'uso, che sono un modo specifico di progettare le interazioni con elementi del software, incorporando i requisiti funzionali espressi dai casi d'uso stessi. I casi d'uso sono associati ad attori (utenti umani, hardware esterno, altri componenti o sistemi) e soggetti (il componente o il sistema a cui il caso d'uso è applicato).

I casi di test progettati con le varie tecniche

sono utilizzati per sollecitare l'oggetto del test (componente, sistema) eseguendolo nelle varie condizioni di test (*test dinamico*).

Nelle fasi alte dei cicli di sviluppo quando non è disponibile il software eseguibile oppure per effettuare verifiche particolari è possibile effettuare un *test statico*.

### **Test statico**

Contrariamente ai test dinamici, che richiedono l'esecuzione del software in fase di test, i test statici si effettuano tramite l'esame manuale dei prodotti di lavoro (revisioni) o sulla valutazione del codice da parte di strumenti (analisi statica). Entrambi i tipi di test statici valutano il codice o altri prodotti di lavoro da verificare senza eseguire effettivamente il codice o il prodotto di lavoro stesso.

L'analisi statica è importante per i sistemi informatici critici per la sicurezza (ad es. software avionico, medicale o nucleare), ma è diventata importante e comune anche in altre situazioni. Per es. l'analisi statica è una parte importante del testing di sicurezza.

Quasi tutti i prodotti di lavoro possono essere esaminati utilizzando test statici (revisioni e/o analisi statica), per es.:

- Specifiche come requisiti di business, requisiti funzionali e requisiti di sicurezza
- Specifiche di architettura e progettazione
- Codice
- Testware: piani di test, casi di test, procedure di test e script di test automatizzati
- Guide per l'utente
- Pagine Web.

### **Differenze fra Testing Statico e Dinamico**

I test statici e i test dinamici possono avere gli stessi obiettivi: fornire una valutazione della qualità dei prodotti di lavoro e identificare i difetti il prima possibile. Il testing statico e il testing dinamico si completano a vicenda trovando diversi tipi di difetti.

Una distinzione principale è che i test statici individuano direttamente i difetti nei prodotti di lavoro, piuttosto che identificare le failure causate da difetti durante l'esecuzione. Un difetto può essere presente per molto tempo senza causare una failure se il percorso in cui si trova è raramente esercitato o difficile da raggiungere, quindi non sarà facile costruire ed eseguire un test dinamico che lo rilevi. I test statici possono essere in grado di trovare il difetto con molto meno sforzo.

Un'altra distinzione è che i test statici possono essere utilizzati per migliorare la coerenza e la qualità interna di prodotti di lavoro, mentre i test dinamici si concentrano in genere su comportamenti visibili esternamente.

Rispetto ai test dinamici, i difetti tipici che è più facile e meno costoso da trovare e risolvere tramite i test statici comprendono:

- Difetti nei requisiti (ad es. incongruenze,







- ambiguità, contraddizioni, omissioni, inesattezze, e ridondanze)
- Difetti di progettazione (ad es. algoritmi o strutture di database inefficienti)
- Difetti di codifica (ad es. variabili con valori non definiti, variabili dichiarate ma mai utilizzate, codice non raggiungibile, codice duplicato)
- Deviazioni dagli standard (ad es. mancanza di aderenza agli standard di codifica)
- Specifiche di interfaccia errate (ad es. diversità delle unità di misura utilizzate dal sistema chiamante rispetto al sistema chiamato)
- Vulnerabilità della sicurezza (ad es. esposizione ai buffer overflow)
- Lacune o imprecisioni nella tracciabilità o copertura della base di test (ad es. test mancanti per i criteri di accettazione).

Inoltre, la maggior parte dei tipi di difetti di manutenibilità possono essere rilevati solo mediante test statici (ad es. impropria modularizzazione, scarsa riusabilità dei componenti, codice difficile da analizzare e modificare senza introdurre nuovi difetti).

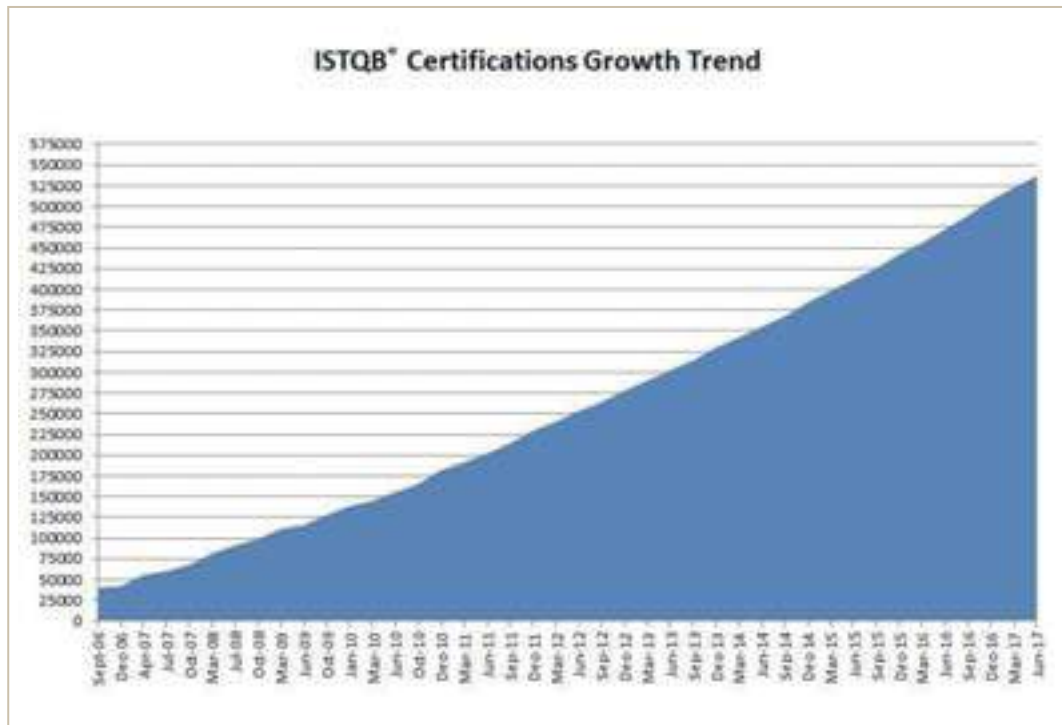
**5.** In conclusione, considerato che il software è oggi presente in ogni nostra attività, un suo malfunzionamento può comportare costi enormi in termini economici, oltreché danni materiali e

perdita di vite umane. È decisivo quindi - per ridurre il rischio di malfunzionamento - investire e dare importanza alle fasi di collaudo del software sin dalle prime fasi del ciclo di vita di sviluppo del software.

In questa prospettiva, è fondamentale sia aumentare la consapevolezza dell'importanza del collaudo software da parte di chi è responsabile dei progetti e del top management sia formare tecnici che conoscano e sappiano applicare al contesto le metodologie e le tecniche del software testing. È necessario che la formazione dei professionisti del collaudo cominci sin dalle università.

Va comunque riconosciuto che oggi già esistono diverse pubblicazioni su questi temi (cfr. bibliografia in calce): esse dimostrano che la consapevolezza in merito alla necessità di professionalità nel campo del software testing sta gradualmente aumentando.

Se vediamo i numeri di ISTQB® (International Software Testing Qualifications Board - <https://www.istqb.org/>) - che ha creato lo schema di certificazione di maggiore successo nel mondo per certificare le competenze nel campo del software testing - le certificazioni sono in costante aumento (vedi figura). Fino a dicembre 2017, sono stati sostenuti circa 785.000 esami di certificazione ISTQB in circa 120 paesi.





### Siti Web

ISTQB® (International Software Testing Qualifications Board) - <https://www.istqb.org/>  
ITA-STQB (Board italiano di ISTQB) - <https://www.ita-stqb.org/index.php/it/>

### Libri

Black, R. (2009) Managing the Testing Process (3e), John Wiley & Sons: New York NY  
Myers, G. (2011) The Art of Software Testing, (3e), John Wiley & Sons: New York NY

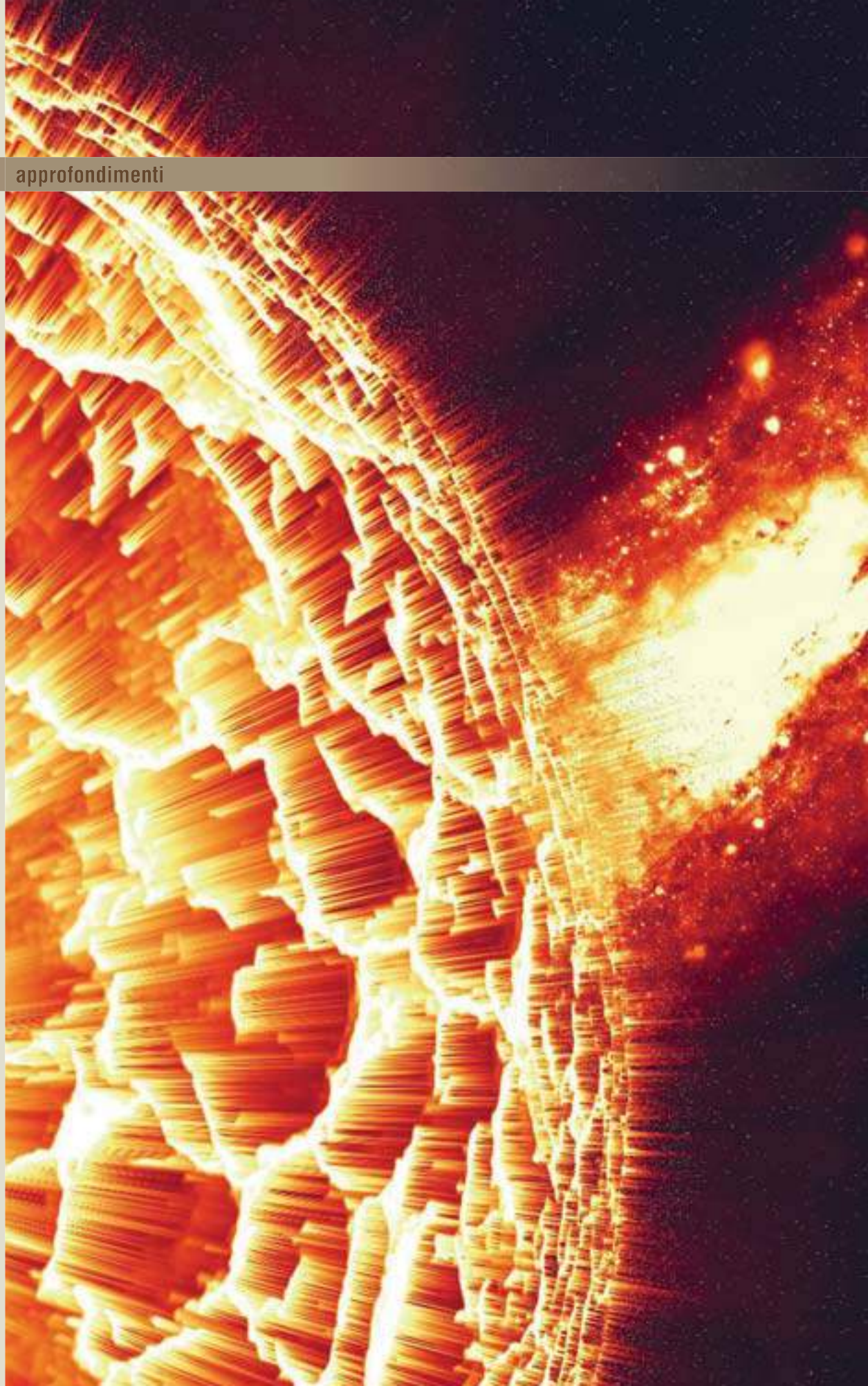
### Documenti ISTQB (*versione italiana da <https://www.ita-stqb.org/index.php/it/>*)

ISTQB Glossary  
ISTQB Foundation Level Overview 2018  
ISTQB-ATA Advanced Level Test Analyst Syllabus  
ISTQB-ATM Advanced Level Test Manager Syllabus  
ISTQB-AT Foundation Level Agile Tester Extension Syllabus  
ISTQB-ATA Advanced Level Test Analyst Syllabus  
ISTQB-ATM Advanced Level Test Manager Syllabus



*Gli*

approfondimenti







a cura di Ing. Carlo Di Leo

# A “vele spiegate” verso Alfa Centauri

*“Allestite navi o vele adatte alle brezze siderali,  
e vi saranno temerari che si avventureranno in quel  
vuoto”*

Giovanni Keplero

## **Introduzione**

Il raggiungimento delle stelle è forse stato da sempre il sogno più antico dell'uomo. Quest'ultimo, tuttavia ha incominciato a muovere i suoi primi passi al di fuori del suo pianeta da poco più di mezzo secolo. In questo breve periodo ha iniziato ad esplorare la Luna ed ha inviato sonde automatiche nelle vicinanze di tutti i pianeti del Sistema Solare, nonché del Sole e di alcuni asteroidi e comete. I risultati scientifici di questi studi “in loco” hanno accresciuto notevolmente le nostre conoscenze sul Sistema Solare, al punto che l'astronomia planetaria è oggi radicalmente diversa di quella di soltanto quarant'anni fa.

I progressi più significativi si sono fatti nella conoscenza di Marte che, in vista di un futuro sbarco umano, è stato oggetto di uno studio sistematico ed approfondito, condotto da un gran numero di robot automatici. Siamo dunque alle soglie di quella che in inglese viene chiamata “spacefaring society”, cioè di una civiltà, a lungo preconizzata dal compianto scienziato visionario Konstantin Tsiolkowsky, in grado di muoversi nello spazio. Ma la colonizzazione dei pianeti più vicini è ancora una meta distante e, pur essendo timidamente iniziato, il processo di espansione nello spazio della specie umana è ancora per molti aspetti un processo di là da venire.



In questo contesto si inserisce la prospettiva di un futuro viaggio interstellare anche se le stelle sono ancora troppo lontane per essere raggiunte da un nostro veicolo, soprattutto se ci si riferisce ad un'astronave con equipaggio umano. Infatti alla velocità delle sonde impiegate oggi per lo studio dei pianeti occorrerebbero decine di migliaia di anni per poter giungere alla stella più vicina. La logica ci suggerisce quindi di occuparci dei corpi celesti più vicini a noi, cioè dei pianeti del Sistema Solare ed in tempi successivi ai sistemi planetari di altre stelle.

Per tale ragione, alcune agenzie spaziali si sono finora mosse con un approccio molto gradualistico, proponendo quelle che vengono normalmente denominate "precursor interstellar missions", che non sono vere missioni interstellari, ma missioni volte ad uscire dal Sistema Solare propriamente detto, cioè da quella regione di spazio che viene comunemente denominata "eliosfera", attraversare l'eliopausa ed entrare nel mezzo interstellare. In questo caso anche le missioni Voyager possono essere considerate "precursor interstellar missions".

Tuttavia, per andare solo un po' più in là, per esempio all'inizio della linea focale della lente gravitazionale del Sole ci vorrebbero sistemi di propulsione radicalmente innovativi come ad esempio delle vele solari adatte a piccole sonde ed una propulsione nucleare elettrica per sonde di maggiori dimensioni. Quest'ultima è molto interessante perché permetterebbe di migliorare anche la mobilità all'interno del Sistema Solare e

di compiere un viaggio con equipaggio umano alla volta di Marte e di altri pianeti vicini a noi. Al giorno d'oggi ha senso dunque parlare di missioni interstellari vere e proprie?

Vi è da dire a tal proposito che negli ultimi dieci anni l'interesse per l'esplorazione interstellare è aumentata di molto. Infatti, finché a distanze interstellari vi erano soltanto delle stelle, viaggiare sin là aveva poca utilità pratica e quindi poco senso. Per studiare le stelle, in fondo, sono sufficienti telescopi e radiotelescopi, ed un eventuale studio ravvicinato non ci potrebbe dire molto di più di quanto potremmo imparare da qui. Il problema assume invece un aspetto diverso se pensiamo al fatto che con le ricerche attuali stiamo "scovando" sempre più pianeti extrasolari e che, oltre a scoprire giganti gassosi come Giove, in fondo facili da localizzare, cominciamo a renderci conto che molte stelle hanno pianeti rocciosi simili al nostro. Si comincia a dare per scontato quello che fino a qualche anno fa era una speranza senza alcuna prova, o meglio una proposizione che si riteneva indimostrabile, secondo la quale la maggior parte (o forse addirittura la totalità) delle stelle è provvista di un sistema planetario, che oltre a comprendere giganti gassosi, asteroidi e comete, comprende anche pianeti di tipo roccioso. Se è così telescopi e radiotelescopi non sono (e non saranno mai) sufficienti per spiegarci non solo come è fatto l'universo, ma neppure come è fatta la zona della nostra galassia a noi più vicina. Per studiare un sistema planetario del genere bisogna an-





darci, almeno con le nostre sonde automatiche. Inoltre più i sistemi planetari sono numerosi, più è probabile che una stella a noi vicina abbia un pianeta e quindi è più probabile che una missione interstellare verso un obiettivo interessante sia fattibile. A questo si aggiunge che fino a pochi anni fa, si riteneva che le stelle multiple non potessero avere pianeti, mentre oggi si sa che alcune stelle multiple hanno un loro sistema planetario. Dato che un buon numero di stelle è multiplo, questa circostanza aumenta di molto la probabilità di trovare pianeti extrasolari abbastanza simili alla Terra.

La stella più vicina a noi, Alfa Centauri, è addirittura una stella tripla: la componente A è una stella gialla di classe G2, come il Sole, ma leggermente più grande. La componente B è solo un po' più fredda del Sole (classe spettrale K6) e leggermente più piccola, mentre la terza componente, che peraltro non si sa con certezza se faccia effettivamente parte del sistema, è una nana rossa di classe M5 e denominata Proxima Centauri poiché è più vicina a noi di circa 0,1 anni luce (4,3 anni luce da noi).

Nel 2012 alcuni astronomi hanno annunciato di aver scoperto un pianeta intorno alla componente B della stella. Si tratterebbe di un pianeta di tipo terrestre, ma la sua orbita sarebbe molto vicina alla stella per cui è molto probabile che il pianeta sia bloccato gravitazionalmente e presenti quindi sempre la stessa faccia verso la stella, analogamente a quanto fa la Luna rispetto a noi. Più di recente la scoperta è stata

smentita da altri astronomi, anche se il problema resta tutt'oggi dibattuto, tanto che le ricerche di pianeti intorno alle due componenti principali della stella proseguono. Nell'agosto 2016 è stato individuato un pianeta in orbita attorno a Proxima Centauri. Potenzialmente si tratta di un pianeta dotato di acqua liquida in superficie, in quanto esso si trova nella fascia orbitale abitabile. Malgrado ciò, dato che si tratta di una nana rossa, e di una stella a brillamenti, la possibilità che sul pianeta si possa essere sviluppata la vita è alquanto remota.

In tutti i modi, indipendentemente dal fatto che sul pianeta si siano sviluppate o meno forme di vita, l'esistenza di un sistema planetario che si trova intorno alla stella a noi più vicina, è di per sé un incentivo fortissimo all'esplorazione interstellare. Inoltre ora che sappiamo che le stelle multiple possono avere dei pianeti, il sistema planetario di Alfa e Proxima Centauri (ammesso che si tratti davvero di una stella tripla) può essere estremamente complesso: vi possono essere pianeti in orbita intorno a ciascuna delle tre stelle, altri intorno a due di loro (Alfa Centauri A e B) ed infine pianeti con orbite molto larghe intorno a tutti e tre. Date le caratteristiche del sistema, soltanto quelli che orbitano intorno ad una sola componente possono trovarsi in una zona abitabile. In fig.1 è mostrata un'immagine pittorica dell'enorme nave interstellare a vela immaginata da Forward, che potrebbe raggiungere in un anno e mezzo il 50% della velocità della luce.



Fig. 1:  
*Nave a vela di Forward*

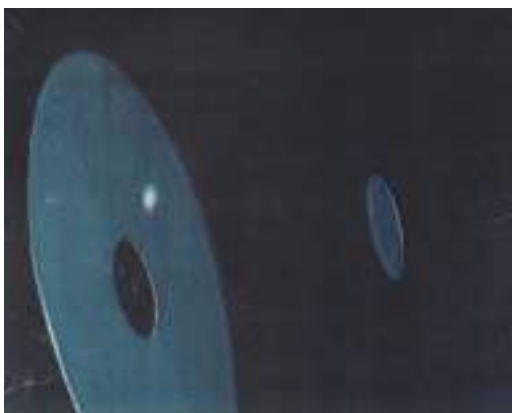


Fig. 2:  
*Altra immagine  
dell'astronave Forward*

### **Vele solari per crociere cosmiche**

Al giorno d'oggi, con l'ascesa dell'ambientalismo e del nuovo mito dell'energia solare, si è cominciato a parlare spesso di astronavi prive di razzi e spinte da vele solari. Come è noto, il principio di funzionamento di una vela solare è che i fotoni della luce del Sole esercitano una pressione sugli oggetti che colpiscono (misurata nel 1897 da Lebedev e poi, nel 1903 da Nichols e Hull), e questa forza è sufficiente a spingere un oggetto posto nello spazio. Maggiori saranno le dimensioni della Vela, e più vicina sarà questa al Sole, maggiore sarà la spinta ottenuta. Il Sole emette

anche un flusso di particelle (protoni ed elettroni) che viene chiamato "vento solare"; tuttavia, bisogna chiarire che non sarebbe tale "vento" a sospingere una vela dato che il suo effetto è trascurabile in confronto alla pura pressione della luce. Dana Andrews della Boeing Aerospace e Robert Zubrin della Martin Marietta idearono nel 1989 un congegno propulsivo in grado di catturare con un campo magnetico queste particelle e respingerle nella direzione voluta, ottenendo anche in questo caso una notevole spinta. Ma, non essendo una vela, non verrà trattata in questo articolo. Anche se i primi studiosi ad avere l'idea di una vela solare furono (come vedremo meglio in seguito) Tsiolkovsky e Tsander, come spesso è accaduto nel Ventesimo secolo, il primo studio degno di nota sulle vele solari apparve su una rivista di fantascienza nel maggio 1951. La rivista si intitolava "Astounding Science Fiction" ed era nota per divulgare idee scientifiche che a quell'epoca sarebbero state ritenute una pura follia. Fu proprio per non passare per folle che Carl Wiley, l'ingegnere autore dell'articolo intitolato "Clipper Ships of Space", ebbe l'idea di nascondersi dietro lo pseudonimo di Russell Sanders. Già nel 1958, comunque, l'idea divenne rispettabile ed il settimanale Time le dedicò un intero editoriale. Rispetto ad un razzo, l'uso di una vela nello spazio dovrebbe presentare straordinari vantaggi. Il principale di questi è che la vela solare non ha bisogno di portare con sé il proprio propellente. Non solo, ma può continuare ad aumentare la velocità per un tempo indefinito, dato che la luce solare è inesauribile. Tali vantaggi sono chiaramente descritti da Eric Drexler, uno dei maggiori studiosi del tema, nel libro "Project Solar Sail", un'antologia di saggi e racconti di autori vari a cura di Arthur C. Clarke e David Brin (New American Library/ROC, 1990). Ancora una volta, è stata una collana di fantascienza ad ospitare questo volume: tuttavia, non si può mettere in dubbio l'autorevolezza e l'acume dei saggi che vi hanno collaborato. Ecco che cosa ha scritto Drexler, fondatore del Foresight Institute: "Confrontate una vela solare con un comune razzo, in viaggio nello spazio esterno. Un razzo da 1 tonnellata potrebbe far





accelerare, in pochi minuti, un carico di peso superiore ad una tonnellata fino alla velocità di un chilometro al secondo. Una vela di una tonnellata (larga più di un miglio) impiegherebbe tutto il giorno a raggiungere la stessa velocità con lo stesso carico. Ma il giorno dopo il razzo avrebbe esaurito il propellente, mentre la vela continuerebbe ad aggiungere un altro chilometro al secondo alla sua velocità. Con un'accelerazione pari ad appena un millesimo di quella di un mattone che cade, arriverebbe a venti volte la velocità del suono in meno di una settimana. Peggio ancora per i razzi: un razzo da 2 tonnellate non potrebbe raddoppiare la velocità del razzo da una tonnellata perché il propellente supplementare sarebbe un grosso fardello. Infatti, aumentare di tre chilometri al secondo la velocità finale del cargo significa raddoppiare approssimativamente la massa del razzo, ma aggiunge solo tre giorni al tempo di accelerazione usando una vela. Poiché i viaggi nel Sistema Solare, per razzo o per vela, richiederanno generalmente mesi o anni, le vele solari hanno un grosso vantaggio per lunghi tragitti: non solo la vela è riutilizzabile per decenni, e non ha mai bisogno di propellente, ma in generale sarà sempre più leggera e più veloce del suo concorrente razzo”.

Fondamentalmente vi sono tre tipi di vela che potrebbero essere costruiti: una vela quadrata, una vela discoidale, ed il cosiddetto “eliogiro” ideato negli anni Sessanta da due progettisti di elicotteri: Richard MacNeal della MacNeal-Schwendler Corporation e John Hedgepath della Astro Engineering. L’eliogiro sarebbe formato da una serie di eliche simili proprio a quelle di un elicottero, che la pressione della luce farebbe girare rapidamente. La forza centrifuga della rotazione renderebbe l’eliogiro rigido e stabile: lo stesso accadrebbe per una vela discoidale. La vela quadrata invece non ruoterebbe su se stessa e verrebbe irrigidita da una struttura di fili sottilissimi. Le prestazioni dei tre tipi di vela sarebbero differenti: come ha scritto Louis Friedman, direttore esecutivo della Planetary Society, nel suo libro “Starsailing” (Wiley, 1988), “una vela quadrata di 1.000 metri di diametro è equivalente ad una vela discoidale di

circa 600 metri di diametro, o ad un eliogiro con 12 eliche, ciascuna lunga 8.000 metri e larga 10”. In fig.2 è mostrata un’altra immagine artistica della nave interstellare di Forward, di cui parleremo tra breve, che potrebbe raggiungere Epsilon Eridani in 23,2 anni di tempo terrestre; il disco più piccolo visibile sulla destra è il cosiddetto “stadio di ritorno”.

Verso la fine del secolo scorso, la World Space Foundation americana, l’Union pour la Propulsion Photonique (UPP) francese e la Solar Sail Union (SSU) giapponese elaborarono dei progetti per organizzare una regata Terra-Luna, la “Luna Cup”, la cui partenza, originariamente fissata per celebrare il 500° anniversario per la scoperta dell’America, fu in un primo tempo posticipata al 1995 e successivamente annullata. La World Space Foundation era stata fondata nel 1979, la U3P nel 1981, e la SSU nel 1985, tutte con la finalità di promuovere la propulsione a vela. La regata spaziale fu annullata in buona parte per l’impossibilità avuta da queste tre organizzazioni di trovare degli sponsor. All’epoca, si stimò che la costruzione di una sola vela sarebbe costata 4,5 milioni di dollari, ed il “Project Solar Sail” fu pubblicato con lo scopo di raccogliere fondi.

Non va dimenticato che proprio per una questione di denaro fallì un progetto, ideato nel lontano 1976 dal celebre Jet Propulsion Laboratory, di inviare una vela solare incontro alla cometa di Halley. Il GPL aveva calcolato che una vela quadrata di 800 metri di lato potesse portare su Halley una sonda del peso di 1 tonnellata e mezza (14.709 N), e aveva speso ben 4 milioni di dollari di allora per la sola progettazione. La WSF, comunque, già nel 1981 aveva costruito e dispiegato a terra un prototipo di vela di 14 metri di lato, senza averla lanciata. Robert L. Staehle, presidente della World Space Foundation, ed il già citato Louis Friedman in “Project Solar Sail” proposero di usare le vele solari per una spedizione marziana, depositando le provviste sul pianeta prima della partenza degli astronauti dalla Terra. Essi scrissero quanto segue: “In ricerche compiute per conto del Lewis Research Center della NASA, il dott. Robert Frisbee del





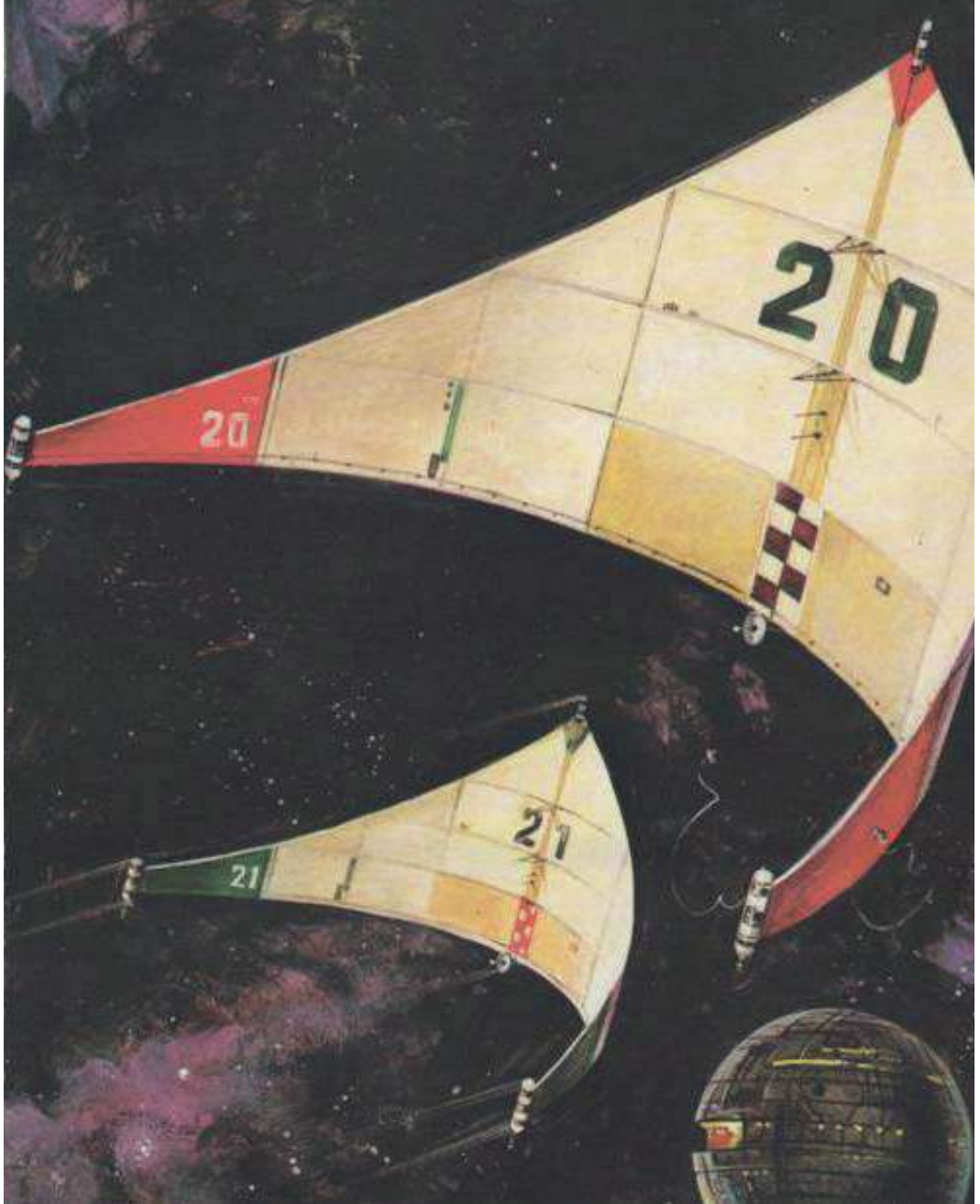


Fig.3:  
*Due vele  
nello spazio*

Jet Propulsion Laboratory ha mostrato che servirsi delle vele solari a questo scopo sarebbe molto più conveniente dei razzi. Il più semplice di questi vascelli cargo, una vela di due miglia di lato e pesante 19 tonnellate (186.314 N), potrebbe trasportare 32 tonnellate (313.792 N) di provviste su Marte in 4,2 anni, tornando vuoto in due anni. Questa è la vela più grande che potrebbe essere assemblata sulla Terra a bordo di uno Shuttle o di un Titan IV. Una flotta di dieci o venti vascelli simili sarebbe sufficiente a trasportare i rifornimenti per la prima spedizione. In precedenza, nel 1981, Staehle aveva pubblicato un saggio sulla possibilità di usare vele solari anche per il trasporto degli astronauti: usando 14 vele di 4 chilometri quadrati ciascuna, la

missione richiederebbe circa tre anni dal lancio fino al ritorno sulla Terra.

Drexler ha affermato che, tuttavia la soluzione migliore non sarebbe quella di lanciare le astronavi direttamente dalla Terra, ma di costruirle direttamente nello spazio. Per comprimere le vele nella capsula di un razzo e dispiegarle solo in un secondo tempo, queste dovrebbero essere relativamente spesse e robuste e composte da un rivestimento metallico steso sopra un foglio di plastica. Vele costruite a gravità zero invece potrebbero essere formate dal solo metallo, senza alcun supporto, e sarebbero così sottili da sbriciolarsi in polvere lucente se sfregate tra le dita. La loro massa dovrebbe essere da 20 a 80 volte inferiore a quella delle vele ripiegabili.

Per fabbricarle, Staehle e Friedman propongono di gonfiare nello spazio colossali bolle di metallo fuso, unite fra loro. Come ben sa chi ha giocato con le bolle di sapone, la superficie di unione di due bolle è una parete piatta, e proprio questa potrebbe essere forgiata per servire da vela. Drexler ha quindi calcolato che un carico dello Shuttle potrebbe fornire abbastanza metallo da costruire su per giù un centinaio di chilometri quadrati di superficie riflettente, suddivisi in qualche dozzina di vele. Lo spessore di queste strutture sarebbe solo di poche centinaia di atomi, cioè 0,1 micron. Per fare un confronto si tenga presente che il cellophane venduto a rotoli nei supermercati è 130 volte più spesso. Il grande scienziato Freeman Dyson (di cui sentiremo parlare molto nei prossimi paragrafi) ritiene addirittura che le vele migliori, potrebbero non essere composte nemmeno di pellicole metalliche, ma di reticoli abbastanza fitti da catturare i fotoni, e che sarebbero tuttavia quasi invisibili ad occhio nudo.

### Il progetto Starshot

Anche se Proxima ed Alfa Centauri sono le stelle più vicine, in termini assoluti sono molto distanti. I 4,3 anni luce che ci dividono da esse sono un'enormità e, come si è detto, alla velocità delle attuali sonde occorrerebbero decine di migliaia di anni per percorrerle. Per poter effettuare la missione in un tempo ragionevole è indispensabile viaggiare ad una velocità che sia una percentuale non troppo bassa della velocità della luce nel vuoto, essendo quest'ultima pari a 300.000 km/s. Per esempio viaggiando ad un quinto della velocità della luce, occorrerebbero 21,5 anni a cui se ne dovrebbero aggiungere 4,3 necessari al segnale trasmesso dalla sonda per raggiungere la Terra. Ed il 20% della velocità della luce è una velocità enorme, se paragonata a quella delle odierne sonde spaziali, e

tale velocità richiederebbe enormi quantità di energia. Ebbene, come è possibile con il nostro livello tecnologico, realizzare una sonda in grado di raggiungere una tale prestazione?

Un modo relativamente semplice era stato suggerito da Robert Forward già negli anni Ottanta: per prima cosa bisognava miniaturizzare la sonda. Il secondo requisito sarebbe consistito nell'abbandono della propulsione a reazione, tipica del razzo tradizionale, in cui il veicolo spaziale doveva portarsi appresso il sistema di spinta, che doveva essere accelerato fino alla velocità finale. Questo inconveniente che si ripresenta in ogni vettore spaziale può essere alleviato dal concetto di veicolo a più stadi, ma non può essere superato del tutto. Al posto di un razzo, si potrebbe usare una vela, ossia un dispositivo in grado di raccogliere una forza dovuta ad un sistema esterno al veicolo. Ma la soluzione più semplice di questo tipo, la vela solare, di cui è mostrata una rappresentazione pittorica in fig.3 (sono mostrate per l'esattezza due vele solari in moto nello spazio), non è ancora sufficiente per raggiungere velocità così elevate.

In alcuni progetti si è pensato di lanciare una sonda dotata di vela solare, usare la vela per rallentare in modo che la sonda cada verso il Sole, così da farla passare ad una distanza relativamente piccola dalla stella. A quella distanza la pressione della luce è molto grande e può accelerare la sonda a velocità molto alte, benché ancora insufficienti per i viaggi interstellari. Anche l'uso di una vela magnetica, che invece della luce del Sole sfrutti il vento solare, ossia il flusso di particelle emesso continuamente dal Sole, non migliora sensibilmente le cose. Nel suo progetto "Starwhisp", Forward suggeriva di spingere la vela non con la luce solare, bensì con un raggio laser o un fascio di microonde: in tal modo, si può concentrare una grande potenza su una vela piccola e leggera fino a farle





Fig.4: Vela spinta da un laser terrestre

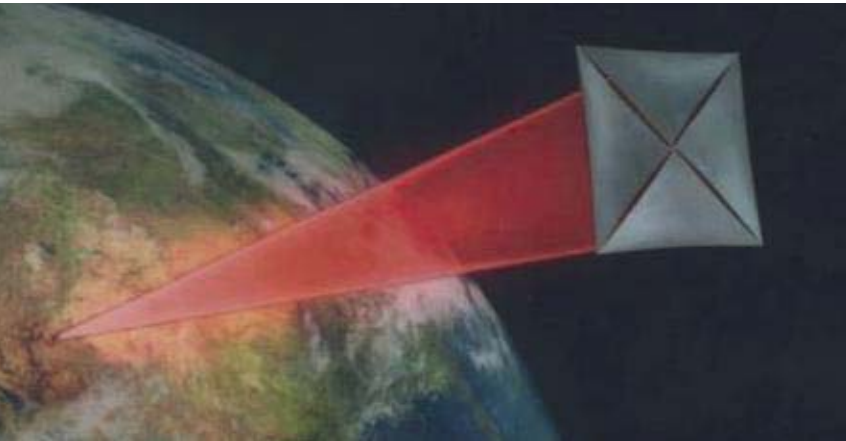


Fig.5: Micro-sonda interstellare

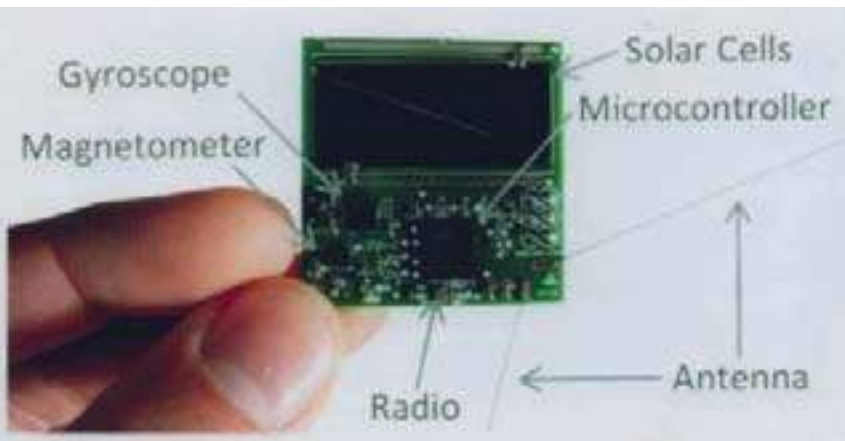


Fig.6: Schiera di laser di potenza



raggiungere la velocità richiesta. Ma quando, nel 1985, tale progetto fu proposto per la prima volta, esso era da un lato irrealizzabile (non esistevano le tecnologie necessarie per miniaturizzare la sonda né quelle per realizzare laser, o maser nel caso delle microsonde, della potenza richiesta) e dall'altro non particolarmente interessante, in quanto non si sapeva che esistessero pianeti extrasolari così vicini a noi. Dopo 30 anni, come ben sappiamo, le cose sono radicalmente cambiate ed in fig.4 è mostrata un'altra immagine artistica di una vela spinta da un laser operante dalla superficie terrestre.

Prima di tutto, la miniaturizzazione dei sistemi elettronici e di molti altri componenti permette oggi di realizzare sonde molto più piccole, anche se non ancora abbastanza piccole per queste applicazioni. Le micro e nanotecnologie consentiranno in futuro di realizzare sonde ancora più miniaturizzate, fino ad arrivare a quelle che vengono chiamate "probe on a chip", cioè un'intera sonda su un singolo circuito integrato. Per ora l'obiettivo è realizzare sonde delle dimensioni di una carta di credito, con un peso dell'ordine di 5 grammi (0,05 newton). La sonda conterrà anche la strumentazione, i motori per il controllo d'assetto e tutte le parti che oggi sono costruite da elementi distinti, realizzati uno per uno e poi assemblati. Non è solo un problema di massa: realizzare un integrato richiede un investimento economico molto alto. Tuttavia, una volta che l'attrezzatura sarà realizzata produrre altre copie costerà molto meno. Si potrebbero in tal modo lanciare moltissime sonde, o come si dice comunemente uno "sciame" di sonde. In questo modo l'affidabilità di ciascuna non conterebbe più molto: le prospettive di successo della missione saranno legate al gran numero di sonde lanciate. È un po' la strategia dei pesci, che depongono un enorme numero di uova, dalle quali solo una piccolissima percentuale si schiude e ancor meno dà origine a nuovi esemplari adulti. In fig.5 è mostrata la struttura di una micro-sonda interstellare, dotata di strumenti scientifici, celle solari, radio e antenne.

Naturalmente anche la vela dovrà essere molto leggera. Se la sonda è molto leggera, la vela può essere piccola. L'uso di materiali particolari, come i nanotubi di carbonio, permette di ridurre la massa della vela a parità di superficie. Sono state eseguite varie prove su piccole vele, realizzate in nanotubi di carbonio, spinte da fasci di microonde in una camera a vuoto, che hanno avuto pieno successo. L'altro aspetto fondamentale è la disponibilità di laser di grande potenza per spingere la vela. Anche in questo campo recentemente sono stati fatti numerosi progressi, anche grazie alle ricerche relative ai laser industriali o alle applicazioni militari. In



ogni caso per spingere una sonda, anche di piccole dimensioni alle velocità necessarie per i viaggi interstellari occorrono laser di enorme potenza, o un gran numero di laser piccoli operanti in modo coordinato.

Il laser può trovarsi sulla Terra, con il grande vantaggio di non doverlo trasferire nello spazio insieme al suo sistema di potenza. Questa soluzione ha però un grosso limite: il raggio del laser deve attraversare l'atmosfera, cosa che causa una perdita di potenza e rende il sistema dipendente dalle condizioni atmosferiche. In caso di nebbia, pioggia o uno spesso strato di nubi, le perdite sarebbero molto maggiori. In fig.6 si può vedere una schiera di laser di potenza, mentre focalizzano il loro raggio sulla vela della sonda interstellare.

Un'alternativa consisterebbe nel sistemare il laser ed il relativo sistema di potenza in un'orbita terrestre, in modo tale che il raggio di luce, che spinge la vela non debba attraversare l'atmosfera. Un altro vantaggio della sorgente laser posta nello spazio, consisterebbe nel fatto che la sonda inizierebbe la fase di accelerazione molto vicina al laser e quindi con una potenza maggiore nella sua prima fase del volo. Gli svantaggi sarebbero però altrettanto ovvi. Sarebbe necessario infatti portare in orbita terrestre la massa, piuttosto notevole del laser e, soprattutto quella del sistema per generare la potenza. Se in futuro, come hanno previsto molti scienziati, tra i quali spicca la figura del compianto Prof. Gerard O'Neill, dovessero esistere centrali elettriche orbitali (SPS, Space Power Systems) se ne potrebbe utilizzare una, in periodi in cui si ha una bassa richiesta di potenza

per altri usi, per alimentare laser e quindi sfruttare un'infrastruttura già esistente, con un sensibile risparmio economico. Un aspetto da non sottovalutare sono le implicazioni politiche e diplomatiche relative all'uso in orbita terrestre di un laser di così grande potenza, che potrebbe essere convertito in arma senza soverchie difficoltà: potrebbe configurarsi una violazione dei trattati che vietano di portare armi nello spazio. Nel progetto iniziale di Forward si pensava di sistemare i laser e la centrale elettrica in orbita intorno al Sole, all'interno dell'orbita di Mercurio, ove l'energia solare risulta essere molto abbondante: in questo caso, l'estensione di pannelli solari necessaria per alimentare i laser sarebbe molto ridotta. In alternativa, i laser e la relativa centrale elettrica potrebbero essere collocati sulla Luna. Se questi componenti venissero realizzati sulla Terra e successivamente portati sulla Luna, i loro costi sarebbero proibitivi, ma realizzando entrambi i sistemi direttamente sul nostro satellite, il costo diverrebbe accettabile. Se il progetto dell'ESA per la costruzione di una colonia lunare si concretizzerà in tempi ragionevoli, si avrà la possibilità di realizzare il sistema di propulsione sulla Luna in tempi non molto più lunghi di quelli necessari al progetto di esplorazione interstellare. Nel 2016 l'idea di Forward è stata ripresa nell'ambito del progetto "Breakthrough", lanciato da un gruppo di scienziati tra i quali Steve Hawking, con la sponsorizzazione del miliardario Yuri Milner e di Marc Zuckerberg. L'iniziativa, oltre ai progetti Listen e Message per la ricerca di intelligenze extraterrestri (SETI), comprende anche il progetto Starshot, il cui scopo è realizzare microsonde spinte da laser per



arrivare ad Alfa Centauri. Il progetto si basa su laser di potenza posizionati sulla superficie terrestre e si ripropone di chiarire tutti gli aspetti scientifici e tecnologici della missione in modo da renderla possibile in tempi ragionevoli: si parla di un periodo oscillante tra i 20 e i 40 anni. I problemi da risolvere sono ancora numerosi, a partire dalla miniaturizzazione della sonda che richiede uno sviluppo delle micro e delle nanotecnologie ben più avanzato di quanto sia oggi. La stessa vela richiede soluzioni ancora da sviluppare, sia per l'obiettivo della massima leggerezza, sia per la stabilità e sia, ancora, per quello che in gergo si chiama "G&C", cioè guida e controllo. Il progetto prevede che la vela venga accelerata rapidamente all'inizio del suo viaggio fino al 20% della velocità della luce e che poi proceda per inerzia (il famoso principio di Leonardo o prima legge della dinamica) fino a destinazione: bisogna assicurarsi che rimanga all'interno del raggio laser che la spinge e che alla fine dell'accelerazione sia diretta nella direzione giusta. Ciò non è semplice perché un minimo errore angolare all'uscita del Sistema Solare porterebbe a mancare completamente la destinazione.

Un altro problema cruciale da risolvere è quello della trasmissione a terra dei dati raccolti: il trasmettitore della sonda non potrà certamente disporre di molta potenza a causa della miniaturizzazione dell'intero sistema, mentre la trasmissione verrà fatta da distanze enormi. Il fatto che si riceva il segnale dalle sonde Voyager, trasmesso con una potenza poco superiore ad 1W da poco oltre l'eliopausa ha quasi dell'incredibile. Qui si tratta di distanze di gran lunga superiori e di potenze non molto maggiori. Un componente che non può essere miniaturizzato è l'antenna, per cui si pensa di sfruttare allo scopo la stessa vela che, piccola che sia, ha dimensioni di qualche metro. Ma costruire

un componente che possa avere entrambe le funzioni è tutt'altro che semplice e mantenere l'antenna orientata verso la Terra con una precisione sufficiente è un problema ancora più complesso.

Una sonda interstellare (miniaturizzata o non) deve avere una grande autonomia. Questo problema ha dovuto essere risolto già per le sonde dirette a Marte o verso i pianeti più lontani del Sistema Solare: non si può telecomandare un dispositivo a distanze tali per cui, tra l'istante in cui viene inviato un comando e quello in cui si riceve la conferma che il comando è stato ricevuto ed eseguito, trascorrono delle ore. Nel caso dell'esplorazione interstellare non si tratterà di ore, ma di anni (quasi 9 nel caso di Alfa Centauri). Probabilmente il problema dell'autonomia è tutto sommato minore rispetto agli altri, perché le esigenze delle sonde che abbiamo inviato negli ultimi cinquanta anni nel Sistema Solare, ci hanno costretto ad affrontarlo da tempo. Le enormi distanze interstellari rendono comunque tutto più difficile. In fig.7 è mostrata un'altra immagine di un progetto di una vela spaziale per micro-navicelle interplanetarie, che sarebbero accelerate da un potentissimo fascio laser.

Un ultimo problema è che lo spazio interstellare non è completamente vuoto ma contiene atomi, particelle, pulviscolo interstellare e piccoli corpi celesti, oltre ad oggetti di grandi dimensioni come i pianeti nani e gli asteroidi della fascia di Kuiper o le comete della Nube di Oort. Ci potrebbero essere anche corpi di dimensioni planetarie di cui non sappiamo nulla, come il nono pianeta (o Pianeta X) di cui si parla da tempo, ma i corpi celesti più grandi in realtà non dovrebbero costituire un vero problema, poiché la loro densità nello spazio, all'esterno del Sistema Solare è talmente bassa da rendere assolutamente improbabile un incontro con uno di loro. Lanciando più di una sonda, la probabilità che un numero rilevante di queste si distrugga in una collisione del genere è decisamente piccola.

Il pericolo potrebbe arrivare invece da atomi e granelli di polvere interstellare: un incontro a quelle velocità potrebbe essere letale per la sonda. Anche qui, le probabilità che la sonda vera e propria venga danneggiata sono piccole; il pericolo maggiore sarà dunque per la vela, che essendo molto più grande sarà più vulnerabile. Se la vela servisse solo alla propulsione il problema sarebbe trascurabile, ma visto che serve come antenna una volta a destinazione, sarà bene studiare il problema accuratamente.

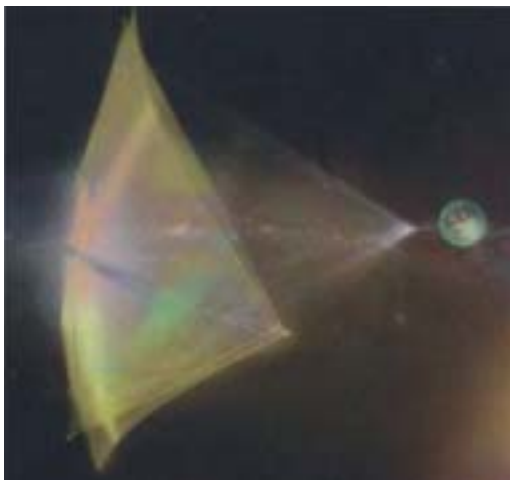


Fig.7:  
Progetto di una vela  
per micro-sonde

*Fine prima parte*







# Cognitive Radio e Software Defined Radio per le reti di Telecomunicazioni verso il 5G

*a cura di*  
Ing. G. Gasbarrone  
Ing. F. Benedetto





## Abstract

La rapida evoluzione delle infrastrutture e dei servizi di telecomunicazione vede una Industry Telco che incide sul 2-3% del PIL nazionale ma che rappresenta il 5% degli investimenti in Italia. Le Telecomunicazioni sono al centro di investimenti e beneficiano delle nuove architetture di rete 5G previste nei programmi di sviluppo 5G sia europei, che internazionali, dove si definiscono gli standard nei comitati 5G-IA, 5G Forum e IEEE. Gli esperti dell'ordine afferenti alla industria delle Telecomunicazioni in collaborazione con gli esperti del mondo accademico universitario di Roma TRE che partecipano attivamente alle attività di standardizzazione propongono in questo articolo una panoramica sulla evoluzione infrastrutturale verso il 5G e su come le nuove tecnologie radio SDR e Cognitive Radio possano contribuire oltre ad una maggiore efficienza nell'utilizzo dello spettro anche alla Resilienza delle reti di Telecomunicazione che incidono sulla sicurezza delle infrastrutture critiche. Recentemente la resilienza è diventata centrale nello sviluppo e progettazione delle Reti di Telecomunicazioni. I nuovi scenari legati agli investimenti ed alle conseguenti opportunità per gli ingegneri, derivano dallo sviluppo delle tecnologie LTE e 5G nel mobile e nella infrastruttura in fibra e Cloud. Assistiamo così all'affermarsi delle architetture di Software Defined Radio nell'accesso wireless e mobile e Software Defined Network nelle Reti, la cui sicurezza e resilienza sono al centro degli investimenti. Tra le tecnologie innovative, in un prossimo futuro, le Cognitive Radio saranno in grado di adattarsi alle variazioni dell'ambiente, interferenze e disponibilità delle frequenze licenziate e non, contribuendo così alla gestione del traffico nelle comunicazioni tra diversi sistemi, anche in scenari operativi che prevedano metodologie di gestione dello spettro più flessibili.

Queste nuove tecnologie offrono una serie di potenzialità e vantaggi perché consentono di ottimizzare tra l'altro gli investimenti e ottenere una pianificazione efficiente nell'uso delle reti fisse e mobili, offrendo una mobilità globale agli utenti in una cornice in cui la sicurezza è sempre al centro delle aspettative.

I nuovi business models rispondono alla crescente domanda di mercato per "ultra-broadband-enabled mobile data applications" che sono centrali nei seguenti mercati verticali: Industry Finance, Public Sector, Automotive, Energy, PA-Defense. La resilienza nelle Reti di telecomunicazioni influisce in questi contesti verticali nel controllo e sicurezza del territorio, nei sistemi per la Difesa, la produzione e distribuzione dell'energia, il tessuto economico e finanziario. Le Reti Telco sono al centro delle Infrastrutture Critiche, il cui ruolo strategico è di garantire la sicurezza e lo sviluppo economico.

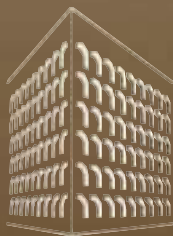
### **Evoluzione delle infrastrutture trasmissive di Telecomunicazioni verso il 5G: quale ruolo per le tecnologie Software Defined Radio e Cognitive Radio**

L'articolo fornisce un quadro d'insieme delle principali attività di standardizzazione internazionali sul 5G; di particolare interesse, le possibilità di integrazione tra la tecnologia 5G e la Cognitive Radio, in grado di apportare una serie di benefici tra i quali maggiore efficienza energetica, una riduzione delle interferenze ed una maggiore copertura sia nello spettro dei licenziatari sia in quello dei non licenziatari. Viene così trattato il tema dell'Accesso dinamico allo spettro (DSA): attività di ricerca universitaria e di regolamentazione nelle comunicazioni Software Defined Radio e Cognitive Radio in Italia ed in organismi internazionali, presentando la tecnologia della Cognitive Radio come evoluzione delle SDR e come valida soluzione per superare il limite della disponibilità dello spettro radio.

In termini generali, la Cognitive Radio è la tecnologia intelligente che esplora lo spettro sfruttando i buchi delle frequenze non licenziate o sottoutilizzate e la loro disponibilità spaziale. Nella rete di comunicazione 5G i dispositivi come gli smartphone interagiscono con le stazioni radio base della rete cellulare e ricevono indicazioni in quale spettro possono trovare condizioni più favorevoli in termine di maggiore disponibilità per le frequenze e bit rate.

Tale tecnologia, in grado di garantire un accesso dinamico e non più statico allo spettro radio, presenta tuttavia delle complessità per la sua implementazione, legate in particolare agli aspetti della normativa e della regolamentazione dell'accesso alle frequenze. Tuttavia, questo non è l'unico punto critico.

Uno dei principali problemi di una architettura di Cognitive Radio (CR) e SDR per i sistemi 5G è l'enorme fabbisogno energetico per supportare le capacità cognitive dei dispositivi mobili. La CR ha un'elevata complessità legata alle implementazioni con chip





ed applicazioni di intelligenza artificiale. Inoltre, ci sono ulteriori limitazioni legate alla realizzazione di CR per 5G che richiedono dispositivi con complessità computazionali elevate affinché analizzino e percepiscano l'intera gamma di spettro con una buona sensibilità e qualità. Tuttavia questa evoluzione del 5G con l'integrazione di SDR/CR nella sua architettura radio, anche se ora appare una strada tutta in salita, diventerà ineludibile per implementare in modo compiuto le architetture IOT, Smart City e per la Smart Factory nello scenario dell'Industria 4.0.

I nuovi sistemi di comunicazione "Next generation" nascono già intelligenti, e forniranno agli operatori una piattaforma che consentirà di utilizzare al meglio la scarsa risorsa dello spettro grazie ad una architettura di rete eterogenea che necessita della Cognitive Radio per essere realizzata.

Le Smart Cities possono essere così progettate basandosi sulla cognitive radio che utilizza lo "spectrum sensing" e lo "spatial sensing". Vengono utilizzate le antenne "massive MIMO" e le "heterogeneous network" che utilizzano le "small cells" Femto / Pico cell.

#### **Dynamic Spectrum Access (DSA)**

Sia la cognitive radio (CR) che la quinta generazione di reti wireless con standard 5G sono considerate le nuove tecnologie che abiliteranno nuovi modelli di business: mentre da un lato, la Cognitive Radio offre la possibilità di aumentare in modo significativo l'efficienza dello spettro utilizzato, dagli utilizzatori finali (CR users) grazie all'utilizzo dei buchi di frequenza non licenziata e al livello di utilizzo delle bande disponibili, dall'altro lato, il 5G abilita l'interconnessione ultra broadband con applicazioni con Quality of Service (QoS) definite per classi d'utente differenziate per scopi e scenari.

#### **Accesso dinamico allo spettro (DSA): attività di ricerca universitaria e di regolamentazione nelle comunicazioni Software Defined e Cognitive Radio in Italia ed in organismi internazionali**

Le frequenze radio rappresentano una risorsa importante per l'industria delle telecomunicazioni. Fonti del settore industriale stimano che tra il 2016 ed il 2022 il traffico generato dagli smartphone aumenterà di un fattore 10 e fino ad un fattore 12 nelle regioni dell'Europa e dell'Africa (fonte: Ericsson.com). Di conseguenza, il valore economico oltre che sociale per questo tipo di connettività assume dimensioni crescenti e gli operatori delle reti mobili dovranno far fronte ad un aumento della domanda da parte degli utenti.

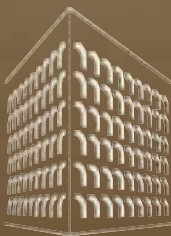
La crescente domanda di multimedialità e di accesso ad internet nei dispositivi portatili ha condotto in questi ultimi anni verso una richiesta sempre maggiore di accesso allo spettro in determinate bande determinando un sovraccarico delle frequenze interessate. A fronte





di questo alcune organizzazioni nazionali come la Federal Communications Commission (FCC) e internazionali come la Shared Spectrum Company (SSC) negli Stati Uniti hanno voluto investigare sull'effettivo sfruttamento delle bande spettrali concesse in licenza ai vari enti, evidenziando che, al variare della zona geografica e dell'intervallo temporale di osservazione, lo sfruttamento effettivo dello spettro oscilla tra il 15% e l'85%, con valori medi molto bassi e al di sotto del 20%. Appare evidente come l'assegnazione tramite licenze conduca alla sottoutilizzazione dello spettro con conseguente spreco di risorse. Tali misurazioni sono state poi recentemente ripetute nelle maggiori metropoli europee con risultati analoghi.

Per aumentare l'efficienza nell'utilizzo delle limitate risorse spettrali occorre superare la rigidità del meccanismo di assegnazione tramite licenze. Tuttavia, non può essere trascurato il gravoso problema dell'interferenza tra diversi dispositivi nella trasmissione o ricezione di onde radio. A tale proposito, svincolato lo spettro dalle licenze, o in previsione di un lungo periodo di transizione fra un tipo di gestione e l'altro, l'onere di evitare le interferenze dovrebbe ricadere pienamente sui dispositivi di telecomunicazione attraverso una gestione evoluta dell'accesso al mezzo di trasmissione. Nell'ultimo decennio si sono andate affermando nuove proposte tecnologiche di dispositivi con elevata capacità di riconfigurazione e gestione della propria interfaccia radio, come ad esempio le Software Defined Radio (SDR) o le Cognitive Radio (CR). Queste ultime in particolare, sono state definite per la prima volta alla fine degli anni Novanta dal Dr. J. Mitola III e si caratterizzano per la capacità di riadattare i propri parametri di funzionamento in modo dinamico ed in funzione del contesto in cui si trovano ad operare, avendo così tutte le potenzialità per individuare ed utilizzare le porzioni sottoutilizzate dello spettro (anche dette spectrum hole o white space). Tale capacità adattativa dei dispositivi CR apre a nuovi scenari in cui







utenti secondari (ovvero utenti non licenziatari) abbiano accesso a porzioni dello spettro non utilizzate dagli utenti primari (ovvero utenti licenziatari) anche nel caso in cui lo spettro sia vincolato da licenza e già assegnato ad altri servizi. È questo il caso del secondary market: una tipologia di scenario che prevede una rete primaria con determinate garanzie di servizio e una rete secondaria, in grado di impegnare la banda solo dove e quando questa sia totalmente o scarsamente utilizzata dal servizio primario.

Attraverso la politica dell'allocazione fissa (fixed spectrum access, FSA), gli utenti secondari non possono sfruttare canali allocati, anche se gli utenti primari che li posseggono non sono effettivamente attivi. Per evitare l'inefficienza spettrale che tale allocazione statica comporta, è stata proposta una politica di accesso dinamico nota come Dynamic Spectrum Access (DSA). Tramite questo approccio, un utente secondario può usufruire di un canale allocato se questo non è utilizzato, e può scegliere di condividerlo con altri utenti secondari. Se l'utente primario torna ad utilizzare il canale di suo diritto, ogni altro utente secondario deve lasciarlo libero nel minor tempo possibile per evitare interferenze. L'utente secondario deve quindi monitorare costantemente l'ambiente, sia in fase di ricerca del canale disponibile, sia durante il suo utilizzo per poter chiudere prontamente la comunicazione o eventualmente spostarsi su un canale libero. Il dispositivo in grado di sondare lo spettro costantemente e valutarne la condizione, è detto appunto radio cognitiva.

In questi anni il termine DSA ha assunto molte connotazioni che comprendono vari approcci alla nuova gestione dello spettro che si vorrebbe avere per migliorarne l'efficienza. Le strategie DSA possono essere catalogate in tre modelli:

**1. Dynamic Exclusive Use Model**

Questo modello mantiene la struttura base dell'attuale normativa, cioè le bande sono concesse in licenza ai vari enti per un uso esclusivo. L'idea principale è quella



di introdurre della flessibilità per migliorare l'efficienza spettrale attraverso la distinzione di due approcci:

- *spectrum property rights*: il titolare della licenza può vendere e contrattare lo spettro;
- *dynamic spectrum allocation*: lo spettro è assegnato in modo esclusivo, ma gestito dinamicamente in base alle statistiche del traffico.

## 2. *Open Sharing Model*

A volte sotto il nome di *spectrum commons*, questo modello utilizza una condivisione aperta dello spettro tra utenti paritari. I sostenitori di questo modello prendono come esempio il grande successo dei servizi wireless che operano nella banda libera ISM, come ad esempio il Wi-Fi e Bluetooth.

## 3. *Hierarchical Access Model*

Questo modello adotta una struttura di accesso gerarchica con la presenza di utenti primari, i titolari della licenza, e utenti secondari. L'idea di base è di aprire agli utenti secondari l'utilizzo dello spettro con un limite sull'interferenza percepita dagli utenti primari. La condivisione può avvenire secondo due strategie differenti:

- *Spectrum underlay*: vengono imposti severi limiti sulla potenza con cui gli utenti secondari possono trasmettere, affinché operino sotto la soglia di rumore di fondo percepita dagli utenti con licenza;
- *Spectrum overlay*: non vengono imposti vincoli sulla potenza trasmessa, ma è previsto che gli utenti secondari sfruttino localmente ed istantaneamente i buchi nello spettro, senza provocare interferenze agli utenti primari.

La capacità di sondare lo spettro radio (ovvero lo *spectrum sensing*) è la caratteristica cruciale per una radio cognitiva. Permette di ricavare statistiche sull'uso della banda nell'area del dispositivo. Oltre le informazioni riguardanti il dominio del tempo, dello spazio e della frequenza, lo *spectrum sensing* determina le caratteristiche relative al tipo di modulazione adottata nelle trasmissioni circostanti, in modo da ottenere un chiaro panorama dell'ambiente.

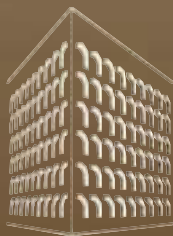
La qualità della rivelazione è legata al tempo di monitoraggio: maggiore è il numero di campioni catturati per raccogliere informazioni, maggiore sarà la qualità delle stime elaborate, maggiore il tempo di attesa prima di poter accedere al canale.

L'analisi dell'ambiente circostante da parte di una radio cognitiva può essere fatta in forma attiva, passiva o cooperativa. Nell'osservazione passiva dello spettro la radio capta silenziosamente i segnali provenienti dall'ambiente circostante, mentre in quella attiva trasmette speciali messaggi o segnali e studia le eventuali risposte. Nell'approccio cooperativo la singola radio opera la propria analisi in modo attivo o passivo e poi condivide le proprie informazioni con le altre radio attraverso un canale di controllo dedicato o comunque con segnali di comunicazione contenenti queste misurazioni. Anche la scelta del tipo di cooperazione nello *spectrum sensing*, come per la condivisione dello spettro, può essere distinta secondo tre diverse strategie:

- *centralizzata*: un'unità centrale raccoglie tutte le informazioni dalle altre radio e, una volta analizzate completamente, informa tutti i dispositivi sui risultati ottenuti;
- *distribuita*: ogni radio condivide le informazioni con tutti gli altri, ma prende da sola una decisione su quale parte dello spettro usare;
- *esterna*: un agente esterno realizza l'analisi dell'ambiente e fornisce a tutte le radio le informazioni sull'occupazione dello spettro.

È bene notare come alcune caratteristiche richieste alle radio cognitive siano già presenti in altri dispositivi odierni come ad esempio la coesistenza che è alla base dello *spectrum sharing*. Infatti, l'abilità di coesistere con altre radio nella stessa banda utilizzando protocolli differenti è stata studiata per diversi anni ed è stata già applicata a molti standard quali IEEE 802.15.2, 802.16.2. Il primo standard fornisce delle regole per la coesistenza delle wireless personal area network (WPAN), definite in IEEE 802.15, con gli altri dispositivi wireless che operano nelle bande senza licenza, come le wireless local area network (WLAN) dello standard IEEE 802.11. Il secondo standard invece fornisce delle linee guida generali per minimizzare l'interferenza nella coesistenza di sistemi fissi a banda larga ad accesso wireless.

Inoltre, altre caratteristiche quali la *dynamic frequency selection* (DFS) e il *transmit power control* (TCP) sono state sviluppate e standardizzate in accordo con il problema della coesistenza negli standard IEEE 802.11h, 802.15.4, 802.16a. In un certo senso queste tecniche applicate alle radio cognitive ne sono una loro evoluzione: infatti i primi standard sulla coesistenza fornivano metodi di misura dell'interferenza e metodi per





mitigarla tramite una coordinazione tra dispositivi che però era gestita manualmente. Poi con l'utilizzo del DFS e TPC queste sono state implementate in modo che potessero essere automatiche.

Ora però gestire il problema di avere utenti secondari che non devono interferire con quelli primari in certe bande richiede alla radio delle caratteristiche di intelligenza avanzate non descritte negli standard già approvati. Per questo motivo sono nati a partire dal 2004 dei progetti per creare degli standard che utilizzino espressamente tecniche cognitive di accesso dinamico allo spettro e di coesistenza avanzata:

- IEEE 802.22

Questo standard è stato sviluppato per le wireless regional area network (WRAN) per fornire l'accessibilità ad internet tramite una connessione a banda larga nelle aree rurali e remote. È basato su time division duplexing (TTD), ortogonal frequency division multiple access (OFDMA) e sull'uso dinamico e opportunistico delle frequenze VHF/UHF tra 54 MHz e 862 MHz date in licenza alle televisioni. Tecniche cognitive sono usate per non interferire con i segnali televisivi.

- IEEE 802.16h

Questo emendamento per gli standard 802.16 specificherà dei meccanismi migliorati (come politiche di controllo per l'accesso al mezzo) per consentire la coesistenza tra sistemi senza licenza basati sullo standard IEEE 802.16 e per facilitare la coesistenza di tali sistemi con gli utenti primari.

- IEEE 802.16m

Questo emendamento allo standard 802.16 fornirà un'interfaccia radio per le operazioni nelle bande assegnate con licenza. Sarà conforme ai protocolli dei cellulari di nuova generazione, continuando il supporto con le infrastrutture preesistenti.

- IEEE 802.11y

Questa rettifica allo standard 802.11 consentirà l'utilizzo a sistemi basati sulle specifiche 802.11 di poter lavorare nella banda di frequenze 3650-3700 MHz negli Stati Uniti. Standardizzerà i meccanismi necessari per consentire le operazioni di condivisione tra utenti basati su 802.11. Le probabili operazioni sono: specificazione di nuove classi di regolamentazioni (estensione di 802.11j), rivelazione di altri trasmettitori (estendendo 802.11a), transmit power control e dynamic frequency selection (estensioni dell'802.11h).





- IEEE 1900.1

Questo standard fornirà delle definizioni tecnicamente precise riguardo i concetti chiave nel campo della gestione dello spettro, delle software defined radio e tecnologie relative. Il lavoro andrà oltre la semplice e breve definizione, ma fornirà un ampio testo che spiegherà queste tecnologie da diverse prospettive. Inoltre descriverà come queste tecnologie siano correlate e possano essere usate in molti servizi di comunicazione per consentire nuove capacità, fornendo, allo stesso tempo, meccanismi di supporto per i nuovi modelli di gestione e accesso allo spettro.

- IEEE 1900.2

Questo standard fornirà le linee guida per analizzare la potenzialità della coesistenza rispetto all'interferenza tra sistemi radio operanti nella stessa banda o in bande differenti.

- IEEE 1900.3

Questo lavoro fornirà dei riferimenti tecnici da seguire per l'analisi del software scritto per le software defined radio, per garantire la conformità con le normative e i requisiti applicativi.

- IEEE 1900.4

Questo standard definirà i blocchi costitutivi che comprendono i gestori di risorse di rete, i gestori di risorse periferiche e le informazioni che vengono scambiate tra questi blocchi, permettendo un processo di decisione coordinato tra le periferiche della rete che sarà di aiuto all'ottimizzazione nell'utilizzo delle risorse della radio, incluso il controllo di accesso allo spettro, all'interno di reti wireless eterogenee. Lo standard si limiterà alle definizioni funzionali e architettoniche nella prima fase. La definizione del protocollo relativo sarà sviluppata in seguito.

- IEEE 1900.5

Il lavoro di questo gruppo definirà un insieme di linguaggi procedurali e le loro relazioni con le architetture per gestire le caratteristiche delle radio cognitive nelle applicazioni ad accesso dinamico dello spettro. Il lavoro sarà inizialmente incentrato sulla standardizzazione delle specifiche necessarie per un linguaggio procedurale che sia limitato a una o più architetture che definiscono e gestiscono le funzionalità e il comportamento delle radio cognitive. Il lavoro seguente sarà quello di standardizzare in maggior dettaglio cosa è stato fatto, facendo attenzione a quanto concerne l'interoperabilità.

- IEEE 1900.6

Lo scopo di questo standard è di definire le informazioni scambiate tra i sensori dello spettro e i clienti in un sistema di comunicazione. L'interfaccia logica e la struttura di supporto dei dati usata per lo scambio di informazioni saranno definite in modo astratto evitando di vincolare la tecnologia di rilevamento, la tipologia del cliente o il collegamento dati tra il sensore e il cliente.

Anche a livello nazionale molti sforzi sono stati profusi da enti governativi per sostenere tale nuova tecnologia:

- negli Stati Uniti, la FCC e la NTIA (National Telecommunications and Information Administration) hanno prodotto una serie di documenti contenenti le linee guida riguardo la regolamentazione di un accesso dinamico allo spettro e la coesistenza di utenti primari e secondari in bande con licenza.
- In Europa, la Commissione Europea ha promosso una serie di iniziative volte a definire i principi chiave e le buone pratiche per una gestione efficiente dello spettro. In particolare, è stato pubblicato nel 2016 un documento contenente il piano d'azione per le infrastrutture di rete 5G per la connettività in Europa.
- Nella regione dell'Asia-Pacifico, i maggiori sforzi nella direzione di regolamentare l'accesso dinamico allo spettro arrivano dall'IMDA (Infocommunications Media Development Authority) di Singapore. È stato infatti pubblicato nel 2016 un documento contenente le specifiche tecniche per la condivisione e l'accesso ai TV white space (gli spectrum hole presenti nella trasmissione dei segnali del sistema televisivo digitale terrestre).
- L'Africa risulta chiaramente una dei paesi più indietro nella promozione di tecnologia abilitanti una gestione dinamica dello spettro ad eccezione di quanto accade alle Mauritius con i documenti prodotti, già dal 2010, dall'ICTA (Information and Communication Technologies Authority).

In conclusione è doveroso sottolineare come il sospingere alla diffusione delle tecnologie abilitanti l'accesso dinamico allo spettro risulti poi di fondamentale importanza in ottica di rete 5G. Difatti, i pilastri fondamentali su cui sarà sviluppata la nuova architettura 5G end-to-end saranno tecnologie di rete innovative, volte a soddisfare requisiti di flessibilità, dinamicità e programmabilità, basate su un substrato "software and cognitive defined".

#### **Conclusioni su "Technical standard and spectrum policy"**

- Need clear deadlines for when the spectrum is to be made available to the market.
- Investors in the next generation of wireless broadband need:
- more predictability and consistency regarding future licensing models and the key conditions for assigning or renewing national spectrum rights,
- a minimum license duration to ensure returns on investment,
- greater scope for spectrum trading and leasing,
- consistency and objectivity in market-shaping regulatory measures (reserve prices, auction design, spectrum blocks and caps, exceptional spectrum reservations or wholesale access obligations).

On the other hand, operators should commit to use the spectrum assigned to them effectively.

The shared use of spectrum, either on the basis of general authorization or individual rights of use, can enable more efficient and intensive exploitation of this scarce resource, and this is particularly relevant for the new, very short-range ("millimetre") spectrum bands foreseen for 5G communications.

#### **Conclusioni - Mobile Industry vision**

GSMA debate is open: GSMA Mobile Policy Handbook (2017)

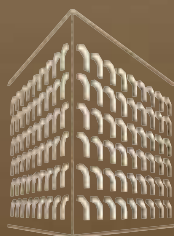
[https://www.gsma.com/publicpolicy/wp-content/uploads/2016/08/Mobile\\_Policy\\_Handbook\\_2017\\_EN.pdf](https://www.gsma.com/publicpolicy/wp-content/uploads/2016/08/Mobile_Policy_Handbook_2017_EN.pdf)

La principale preoccupazione è che la tecnologia Cognitive Radio e SDR non riduca in alcun modo la necessità di armonizzare e regolamentare lo spettro radio:

- "Cognitive radio technologies will not reduce the need for harmonised mobile spectrum anytime soon. Adhering to internationally recognized band plans is the only way to achieve large economies of scale."
- "In the future, will cognitive technologies enable devices to tune dynamically to any band removing the need for countries to harmonize?"

**Queste indicazioni non incidono sullo sviluppo della tecnologia ma sulla regolamentazione dello spettro radio. Tuttavia è opinione degli autori che l'evoluzione del 5G con l'integrazione di SDR/CR nella sua architettura radio, ora al centro delle attività degli organismi di standardizzazione tecnica e regolamentazione dello spettro, sarà marginale per implementare in modo compiuto le architetture IOT, Smart City e per la smart factory nello scenario dell'Industria 4.0.**

Questi temi saranno trattati nel prossimo evento sul 5G <https://www.wvrf42.ch> dall'autore Giovanni Gasbarrone



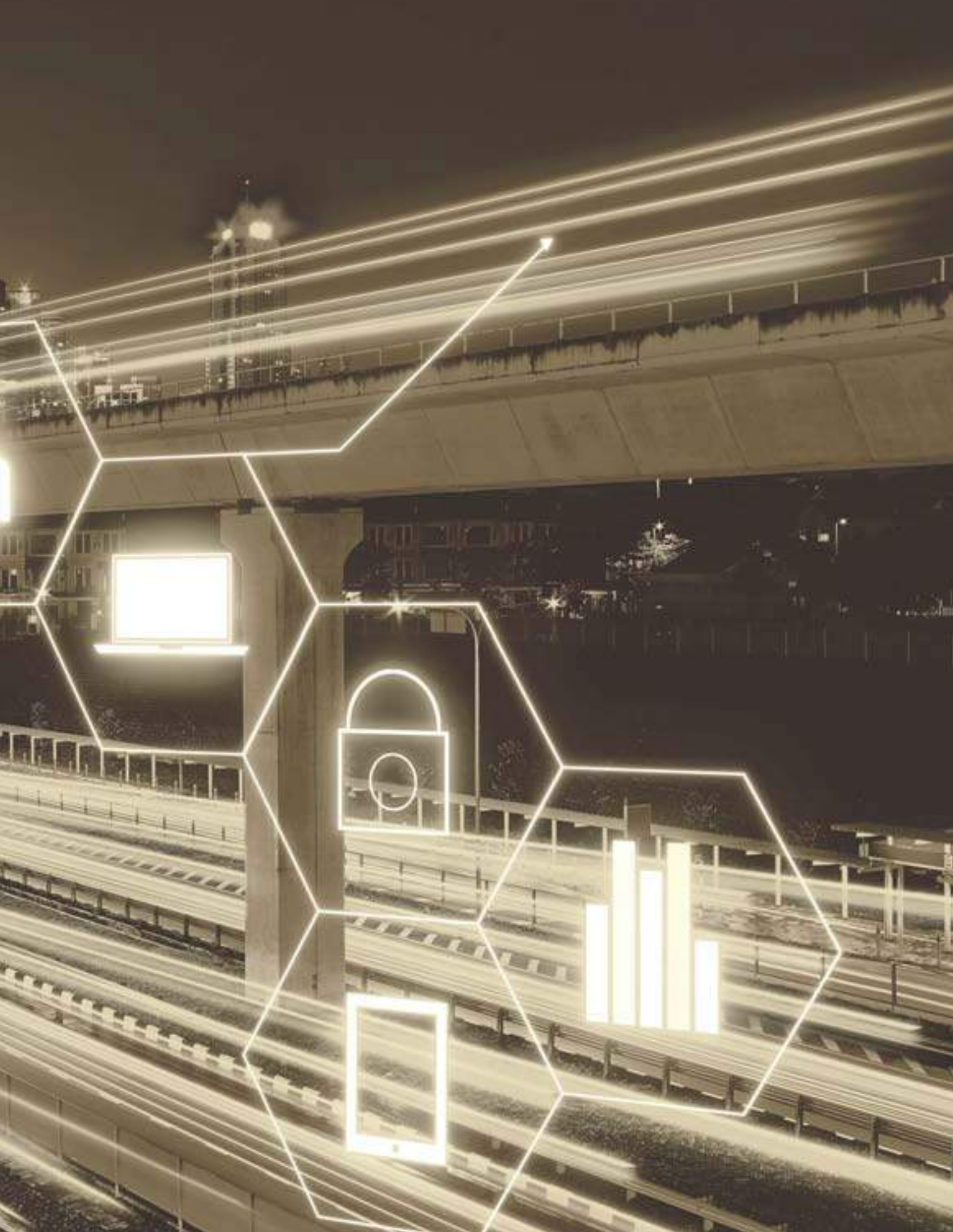




# Dagli eventi













# Nuove architetture Fixed Wireless Access verso il 5G

*a cura di*

Ing. Marco Ferrauti

Commissione Telecomunicazioni

Se ne parla sempre di più. È stato definito anche tra gli "Use Cases" del 5G. È il Fixed Wireless Access, spesso indicato anche con il suo acronimo "FWA".

Per Fixed Wireless Access si intende una metodologia di accesso alla rete fissa (Fixed), basata su tecnologia mobile (Wireless, principalmente LTE-TDD), che permette di offrire una connessione a banda larga per l'accesso ad internet.

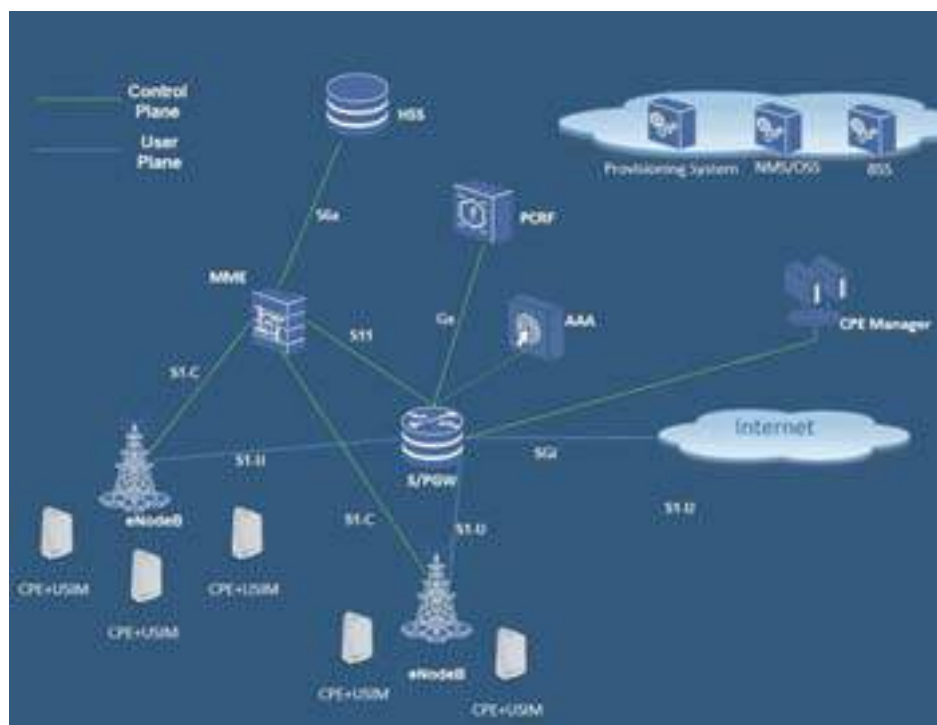
L'FWA è molto utilizzata in tutte quelle situazioni dove portare una connessione via cavo (doppino o fibra) in una determinata area o abitazione, risulta troppo oneroso o complicato; l'utilizzo della connessione wireless permette di superare eventuali impedimenti di carattere installativo, offrendo tempi di implementazioni ridotti, con costi contenuti. Si pensi ad esempio alla necessità di offrire una connessione a banda larga in diverse abitazioni isolate, o particolarmente situate in zone impervie.

Ma non solo: i business models degli Operatori FWA includono soprattutto il segmento

Divide; infatti, facendo leva sulla facilità di installazione del servizio, e sui tempi di attivazione paragonabili a quelli di una linea mobile, con possibilità anche di piani tariffari pre-pagati e con maggiore facilità di recesso, si è venuto a creare un mercato concorrenziale con gli Operatori classici, sui servizi Internet Broadband Access anche nelle grandi città.

Da un punto di vista di architettura di rete possiamo considerare l'FWA come quella di una rete mobile di quarta generazione LTE 3GPP, tranne per la mancanza dell'interfaccia di collegamento tra stazioni radio base, in quanto non essendo presente la mobilità dei terminali di utente, definiti CPE (Customer Premises Equipment), non è implementata la funzionalità di handover.

Fig. 1 – FWA Network Architecture



Il paradigma è molto interessante: stiamo parlando di una rete mobile, dove i terminali di utente rimangono fissi, e dove le classi di servizio end to end del traffico devono necessariamente emulare quelli della rete fissa; ultimamente si parla anche dei servizi di rete FWA come servizi "Fiber Like" o WTTx (Wireless To The X), quest'ultimo acronimo per indicare una architettura simile alla FTTx (Fiber To the X) ma con connessione "ultimo miglio" in tecnologia Wireless.

Sicuramente il dimensionamento della rete è sfidante, sia da un punto di vista radio che di trasporto; se si considera che gli utenti di una rete FWA generano esclusivamente traffico di rete fissa, i valori di traffico giornaliero sono enormi, molto più vicino a quelli di un Operatore di rete fissa che a quelli di un Operatore mobile.

Dall'altra parte, la garanzia di fornire una qualità del servizio simile a quello di una rete fissa può essere soddisfatta solo mediante tecniche avanzate di policing e gestione delle risorse, soprattutto per servizi real time, come ad esempio il gaming, o lo streaming di contenuti video (Netflix, NowTv, etc...), senza tralasciare i requisiti di sicurezza delle connessioni, che richiedono comunque uno spettro radio dedicato.

In Italia, gli Operatori FWA possono contare su frequenze dedicate nella Banda 42 (3.4GHz – 3.6GHz), licenziate dal Governo Italiano, e nella banda 26-28GHz, entrambe funzionali al 5G.



Infatti, è a partire dal rilascio in concessione delle frequenze 3.4GHz – 3.6GHz, nell'anno 2008, che il modello FWA trae le sue origini: all'epoca veniva utilizzata la tecnologia di accesso radio Wi-Max, sostituita poi, nel giro di pochi anni, con l'accesso radio LTE-TDD; quest'ultima, grazie a modulazioni radio e tecniche MiMo più spinte, come 256QAM e MiMo 4x4, permette di ottenere un'efficienza spettrale (bits/Hertz) maggiore rispetto al Wi-Max e di conseguenza un'utilizzo più efficace dello spettro. Ad oggi, lo scenario italiano degli Operatori FWA riveste sempre maggiore importanza nel mercato delle telecomunicazioni, legato principalmente agli investimenti sulla Banda Ultra Larga e all'evoluzione delle reti verso il 5G. Infatti l'idea di utilizzare l'FWA nelle aree cosiddette grigie, ovvero a perdita di mercato, è sicuramente una soluzione che i player del mercato stanno valutando, sia per i costi più contenuti che per la rapidità dell'attivazione del servizio; parallelamente si parla anche di accordi wholesale FWA, ovvero Operatori con infrastruttura FWA propria, che possono rivendere copertura e accesso internet FWA ad altri Operatori. A questo proposito in Italia, gli Operatori che hanno già una rete FWA commerciale e offrono servizi di accesso a banda larga a livello nazionale sono Linkem e Ariadsl (acquisita da Tiscali e ora ceduta a Fastweb), Eolo (Nord e Centro Italia), Go-Internet (Marche e Emilia Romagna), Mandarin (Sicilia) e Brennercom (Alto Adige).

In ottica futura, va sicuramente sottolineato che il 5G permetterà di realizzare connessioni FWA sempre più performanti, sia in termini di latenza che di throughput, grazie anche alle nuove bande aggiuntive di frequenza che saranno messe a disposizione, come il 28GHz (millimeter bands); la convergenza 5G FWA e 5G Mobile verrà garantita dall'utilizzo dello stesso standard che permetterà agli Operatori di garantire la piena mobilità.

In ambito internazionale, gli Operatori americani Verizon e AT&T hanno già avviato un'offerta commerciale 5G FWA sulla rete mobile, come alternativa alla banda larga di rete fissa, utilizzando dei dispositivi Hotspot 5G; i terminali mobili 5G verranno resi disponibili a partire da metà 2019.

Questo modello di business verrà adottato anche in Italia, dall'Operatore Fastweb, che ha dichiarato ultimamente *"Il 5G cambierà il paradigma delle reti fisse ancora prima e in modo più disruptive di quanto non avverrà per il mobile. E ha le caratteristiche per diventare un'alternativa economica, flessibile e rapida al FttH per fornire connettività Gigabit ultra-larga nelle case degli italiani in molti contesti diversi"* (rif. CorCom).

Proseguendo in Europa, l'Operatore Norvegese Telenor e l'Operatore Svedese Telia stanno lavorando su dei Trial 5G FWA per il mercato domestico, in attesa del rilascio delle frequenze 5G.

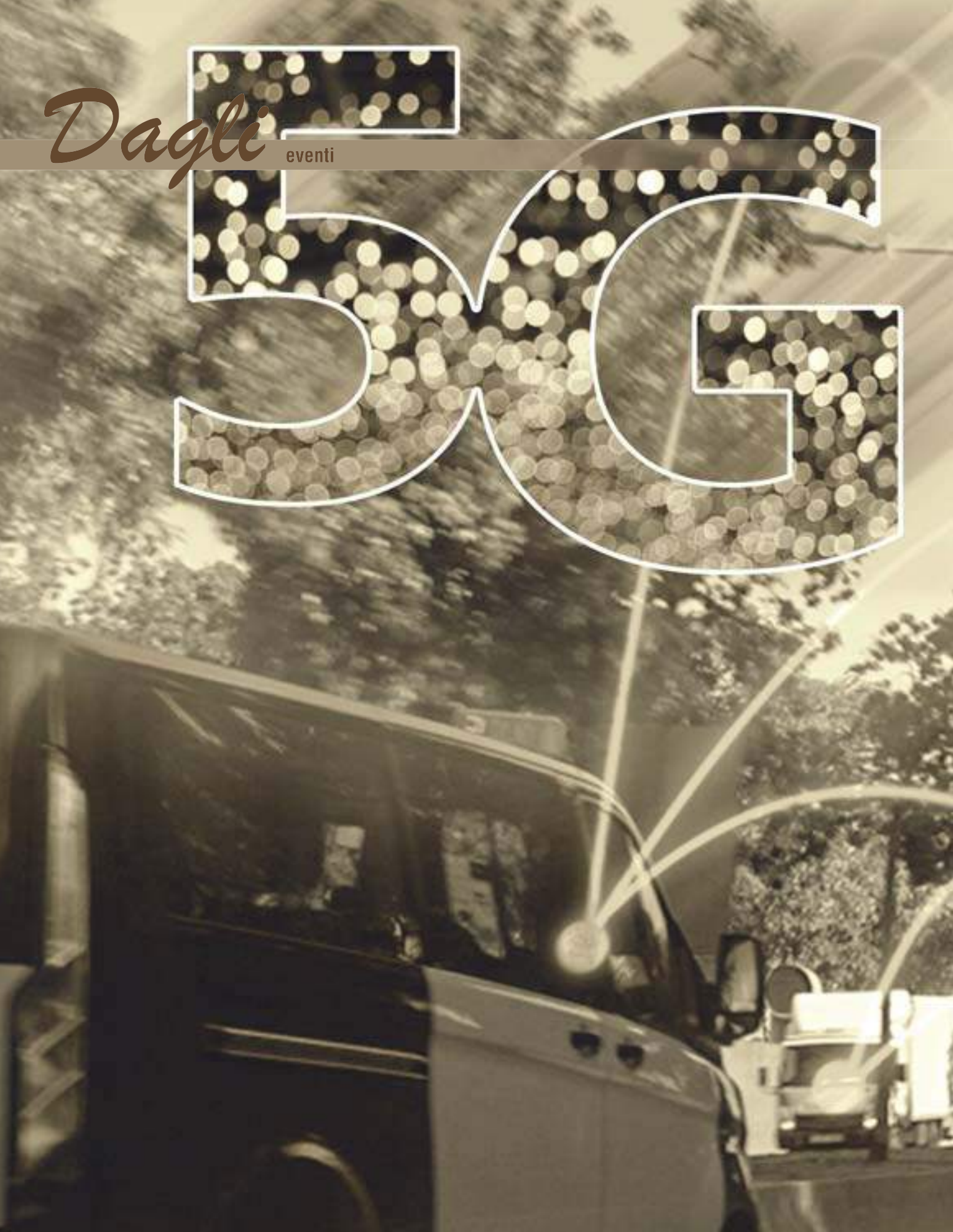
In altre parole, il FWA è già parte integrante del 5G.





*Dagli* eventi

BOGE



# Evoluzione delle infrastrutture trasmissive di Telecomunicazioni verso il 5G

quale ruolo per cognitive  
radio & self-organizing functionalities

**ING. GIOVANNI GASBARRONE**  
ANUTEI

Associazione Nazionale Ufficiali Tecnici Esercito Italiano  
Presidente Commissione Telecomunicazioni Ordine Ingegneri di Roma



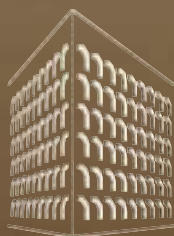
# Telecommunication Industry

**Come le Telecomunicazioni abilitano  
la quarta rivoluzione industriale**

## Enabling the digital revolution

La sempre maggiore disponibilità di piattaforme tecnologiche in un'ottica di convergenza tra Mobile, Intelligenza artificiale, Cloud, Big Data/Analytics sta drammaticamente cambiando il modo in cui noi viviamo, lavoriamo, ed interagiamo. Questo trend si colloca nella Quarta Rivoluzione Industriale.

Infatti il ruolo svolto dalla Telecommunication Industry risulta fondamentale nell'accelerazione della trasformazione digitale e nei processi di business, consentendo la trasformazione e digitalizzazione dell'industria verso la quarta rivoluzione.





## Le Telecomunicazioni al centro della quarta rivoluzione industriale

L'industria delle Telecomunicazioni abilita la «digital transformation» per tutti i mercati verticali. Gli operatori tendono a differenziarsi sia nei modelli di business che nei servizi offerti alla clientela Business e Consumer. Più le performance degli operatori Telco si allineano grazie a reti più performanti e più è necessario differenziarsi, portando quindi l'industria a ricercare nuovi modelli di business e a soddisfare le esigenze dei clienti attraverso l'innovazione.

Un'esplosione di servizi che non genera tuttavia una crescita dei ricavi altrettanto significativa per gli operatori di Telecomunicazioni causata dalla migrazione dei ricavi dagli operatori Telco agli Over the Top. Assistiamo così a modelli di business in rapida evoluzione, ad un salto di paradigma nella tecnologia con infrastrutture all' IP e SDN, e alla convergenza di piattaforme Cloud –Mobile- Social-Big Data.

### Telecommunications Industry Business models in a convergence scenario



### Industry 4.0 European Industry will maintain its leading role if the digitalization will be successful

"Europe has a very competitive industrial base and is a global leader in important sectors. But Europe will only be able to maintain its leading role if the digitization of its industry is successful and reached fast. Our proposals aim to ensure that this happens. It requires a joint effort across Europe to attract the investments we need for growth in the digital economy."

Günther H. Oettinger, Commissioner for the Digital Economy and Society.

The industrial revolution of our time is digital. We need the right scale for technologies such as cloud computing, data-driven science and the internet of things to reach their full potential. As companies aim to scale up across the Single Market, public e-services should also meet today's needs: be digital, open and cross-border by design. The EU is the right scale for the digital times.

Andrus Ansip, Vice-President for the Digital Single Market.



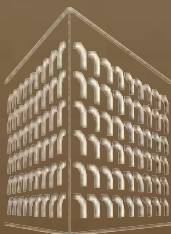
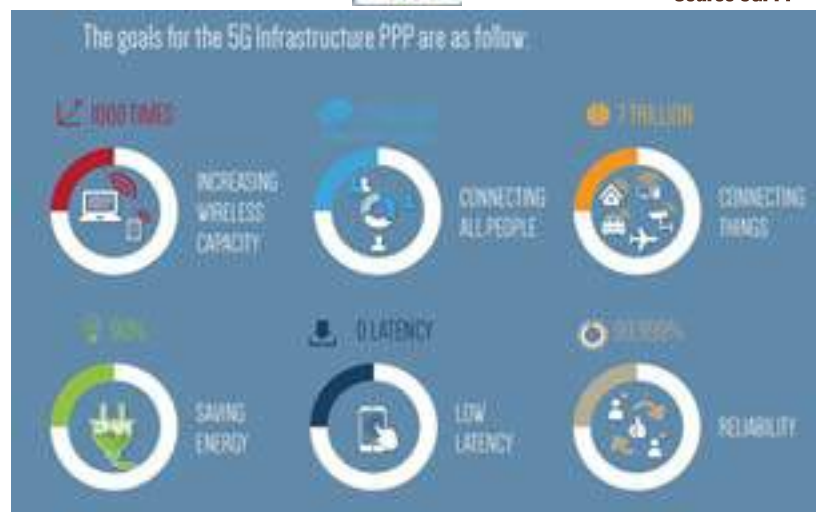


## EUROPEAN LEADERSHIP IN 5G

- Adjusting to a new mix of novel spectrum licensing models such as shared access,
- cognitive radio collective spectrum use, etc: against traditional licensed and unlicensed bands. There may be new licensing models that depend on major technology challenges, never resolved before, all tending to delay final roll-out as co-existence is worked out,
- Complex digital signal processing for Internet Protocol (IP) packet delivery (with the IPv6 addressing), possibly with cognitive radio techniques for dynamic spectrum access (DSA) with adaptive frequency selection.



Source 5GPPP



## Industry 4.0: Vision -2020 5G will revolutionize key industries



IOT and industrial robotics



Augmented reality

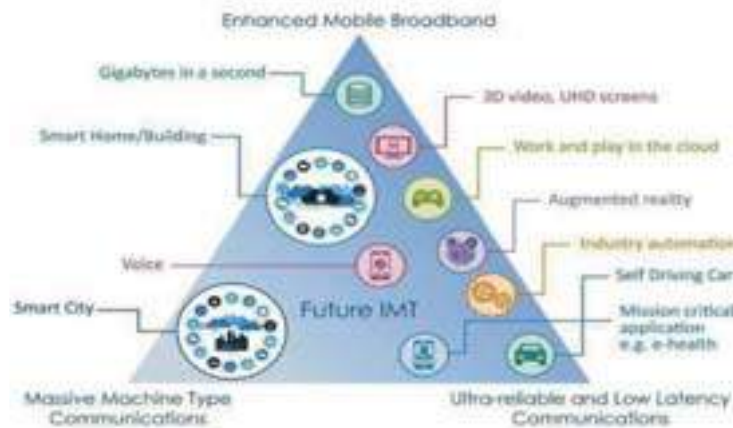


Smart Transport  
Sustainable Urban  
Mobility



Industry 4.0

## 5G: la fusione di tecnologie radio evolutive per tre tipologie applicative



Fonte: ITU-R

## Cognitive radio e 5G

In termini generali, la Cognitive Radio è la tecnologia intelligente che esplora lo spettro sfruttando i buchi delle frequenze non licenziate o sotto utilizzate e la loro disponibilità spaziale. Nella rete di comunicazione 5G i dispositivi come gli smartphone, interagiscono con le stazioni radio base della rete cellulare e ricevono indicazioni in quale spettro possono trovare condizioni più favorevoli in termine di maggiore disponibilità per la frequenze e bit rate.



## 5G : heterogeneous network and cognitive radio



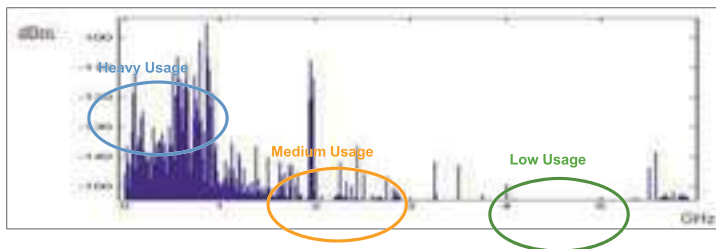
I nuovi sistemi di comunicazione "Next generation" nascono già intelligenti, e forniranno agli operatori una piattaforma che consentirà di utilizzare al meglio la scarsa risorsa dello spettro grazie ad una architettura di rete eterogenea che necessita della Cognitive Radio per essere realizzata.

Le smart cities possono essere così progettate basandosi sulla cognitive radio che utilizza lo "spectrum sensing" e lo "spatial sensing".

Vengono utilizzate le antenne "massive MIMO" e le "heterogeneous network" che utilizzano le "small cells" Femto / Pico cell.

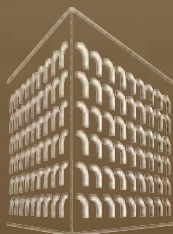
## Dynamic Spectrum Management (DSM)

Sia la cognitive radio (CR) che la quinta generazione di reti wireless con standards 5G sono considerate le nuove tecnologie che abilitano nuovi modelli di business: mentre da un lato, la Cognitive Radio offre la possibilità di aumentare in modo significativo l'efficienza dello spettro utilizzato, dagli utilizzatori finali (CR users) grazie all'utilizzo dei buchi di frequenza non licenziata e al livello di utilizzo delle bande disponibili, dall'altro lato, il 5G abilita l'interconnessione ultra broadband con applicazioni con Quality of Service (QoS) definite per classi d'utente differenziate per scopi e scenari.



## LTE - OFDMA → 5G ?

- Le soluzioni più interessanti per le tecnologie LTE utilizzano modulazioni basate su sistemi multiportanti, denominati *OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)*, che riducono l'interferenza mutua grazie alla ortogonalità tra le portanti e, con l'introduzione della tecnologia *MIMO (Multiple Input Multiple Output)*, è possibile migliorare la qualità del canale radio ed incrementare la banda a disposizione nella comunicazione.
- Gli standard 5G prevedono l'*AMC (Adaptive Modulation and Coding)*, per cui a seconda della qualità del segnale viene selezionata una modulazione più robusta (es. QPSK), ma meno performante o viceversa (es. 64QAM). Di conseguenza all'aumentare della distanza dalla stazione trasmittente, diminuisce il throughput.
- Una delle caratteristiche principali dei sistemi 5G è inoltre la possibilità di funzionare in condizioni di *NLOS (Non Line of Sight)*, cioè con le stazioni trasmittente e ricevente non in visibilità, grazie soprattutto all'uso della tecnica OFDMA e questo è molto importante in applicazioni per aree industriali o in ambito militari o di protezione civile. Gli errori di decodifica introdotti dalla presenza di sottoportanti eccessivamente attenuate possono essere eliminati, utilizzando una codifica a correzione di errore (FEC) e un meccanismo di *ARQ (Automatic Repeat reQuest)*. Quest'ultimo fa sì che sequenze ricevute con errori non correggibili vengano ritrasmesse, utilizzando una modulazione più robusta, evitando quindi l'intervento di meccanismi di ritrasmissione ai livelli superiori (TCP), in genere molto più lenti. Questo facilita in una rete IP il funzionamento dell'applicazione ICT.



## 5G per Smart City heterogeneous network and cognitive radio



## Soluzione di rete Satellitari e wireless 5G - WiFi mesh per campus militari



	WG A/B	H/EVAL
	<b>WG Chair: Knud Erik Skouby</b>	<b>WG Chair: Angeliki Alexiou</b>
15:30 - 16:00	Giovanni Gambiaroni, 5G Business Modelling	Paul Yevgeni Kouzhenyov, Tampere University, FINLAND, Improving connectivity for 5G with mmWave (INVITED)
16:00 - 16:30	Peter Lindgren, KE Skouby, Future Technologies for Multi Business model Innovation	Hadi Sameddoun, (King Abdullah University of Science and Technology, Saudi Arabia), Terahertz Band Ultra Massive MIMO Spatial Modulation
16:30 - 17:00	Milenko & 5G, Views from India & Russia	Onar Sahin InterDigital, UK, Next generation Channel Coding Towards 5G Wireless Communication - The European EPIC Project
	Thursday 18th May 2019	

# Dagli eventi





# Accesso dinamico allo spettro (DSA)

Attività di ricerca universitaria e di regolamentazione nelle comunicazioni Software Defined e Cognitive Radio in Italia ed in Organismi Internazionali

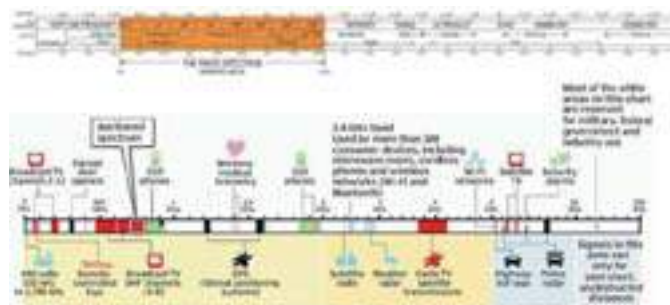
**ING. FRANCESCO BENEDETTO**

Chair of the IEEE 1900.1 standard on DSA  
Signal Processing for Telecommunications and Economics Lab.  
Economics Dept. - University of Roma Tre

## OUTLINE

- **Spectrum Scarcity and Spectrum Occupancy**
- **Dynamic Spectrum Access**
  - *From Software Defined to Cognitive Radios*
  - *Cognition and Spectrum Sensing*
- **Progressing towards Regulatory Harmonization**
  - *Standardization Bodies (IEEE, ITU-R, ETSI, ECMA, IETF)*
  - *National Level (USA, Europe, Asia-Pacific Region, Africa)*
- **Conclusions and Future Directions**

## SPECTRUM SCARCITY



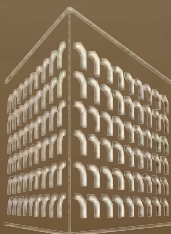
- The currently common regulatory framework is based on static allocation and assignment of spectrum, which is generally referred to as the command and control mechanism.
- Accordingly, the existing radios are mostly policy based-radios in which the policy forbids a dynamic access to the spectrum.

## SPECTRUM OCCUPANCY: USA

Measurements of the Federal Communication Commission (FCC)

- Spectrum occupancy is in the range of 15-80%
- Mean spectrum utilization is lower than 20%

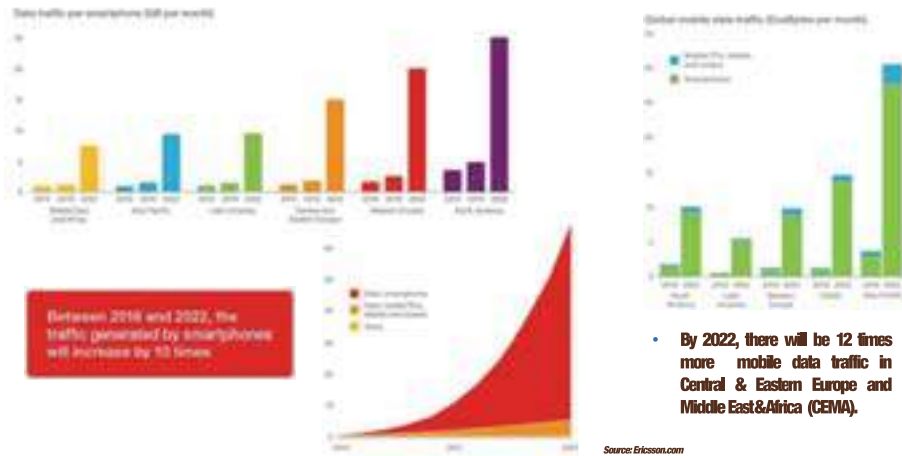
Most of the allocated spectrum is not fully used by licensed users (i.e. Primary Users – PUs)





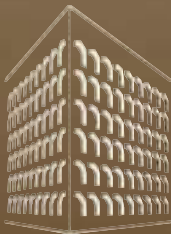
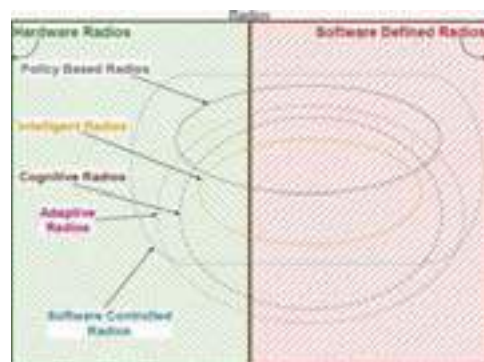


## FUTURE MOBILE DATA USAGE



## SOFTWARE DEFINED RADIO

- SDR provides a path towards the realization of concepts such as reconfigurability, run-time reconfiguration and cognitive radio.
- It is likely that in the near future the SDR technology will be available to implement even the most demanding radio configuration in software (e.g.s virtualization).
- It is expected that the major foreseeable usage areas for SDR include Dynamic Spectrum Allocation and Management scenarios.



## COGNITIVE RADIO: DYNAMIC SPECTRUM ACCESS

- From a static spectrum allocation to a spectrum sharing strategy and dynamic access to the spectrum resources

### • Secondary Users (SUs)

- are unlicensed users
- exploit spectrum holes without interfering with PU communications
- create Cognitive Radio Networks (CRNs)



## FROM SOFTWARE DEFINED TO COGNITIVE RADIO

- Cognition: The IEEE 1900.1 standard considers the following attributes as the fundamental blocks of the definition of cognition:
  - memory and reasoning;
  - learning;
  - goal driven;
  - adaptiveness.



Levels of Cognitive Radio Functionality

Level	Capability	Comments
0	Preprogrammed	4 address calls
1	Self-Direct	Channel Allocation According to Cost, Required Bandwidth, Resources
2	Context Awareness	Knowledge of What the User is Trying to Do
3	Radio Aware	Knowledge of Radio and Network Components, Environment Modes
4	Capability Planning	Anticipate Situation (Learn) & Use to Determine Goals (Plan), Infer, Follow Prescribed Plans
5	Context Negotiation	Talks to a Peer with Another Radio
6	Learn Environment	Adaptively Determines Structure of Environment
7	Adapt Plans	Determine Best Goals
8	Adapt Protocols	Processes and Negotiates New Protocols

- It is expected that the terms “cognitive” and “cognitive radio” will continue to undergo changes incorporating evolving concepts such as cloud and virtualized radios, software defined networks, and decision-making functions.

## PROGRESSING TOWARDS REGULATORY HARMONIZATION



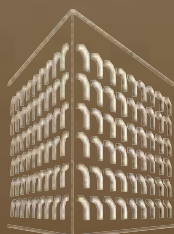
### STANDARDIZATION BODIES: IEEE

IEEE 1900.1 Working Group on "Definitions and Concepts for Dynamic Spectrum Access: Terminology Relating to Emerging Wireless Networks, System Functionality, and Spectrum Management"

The baseline IEEE 1900.1 standard was published on September 26th, 2008. The standard can be obtained at: <http://standards.ieee.org/findstds/standard/1900.1-2008.html>

The "1900.1a:IEEE Standard Definitions and Concepts for Dynamic Spectrum Access: Terminology Relating to Emerging Wireless Networks, System Functionality, and Spectrum Management Amendment: Addition of New Terms and Associated Definitions" was published in January 2013 and is available here: <http://standards.ieee.org/findstds/standard/1900.1a-2012.html>

Since January 2013 the IEEE 1900.1 Working Group has been concentrating on preparing a root-and-branch revision of the original baseline standard that was published in 2008. It is intended that this revision will provide an up-to-date viewpoint on the associated fast-moving technology areas. It is also intended that this revision will enhance the informative content detailing the relationship between the various concepts covered by the standard.





## STANDARDIZATION BODIES: ITU-R

Wireless world is taken care by ITU-R sector. Its activities are aimed at providing an enabling environment for the sustainable development of radiocommunications.

Globally, the ITU-R produced its final recommendations for possible deployment of DSA-based technologies in TV bands, although spectrum regulations are done on a national basis.



- ITU-R, Report SM.2152 "Definitions of Software Defined Radio (SDR) and Cognitive Radio Systems (CRS)"
- ITU-R, Report M.2225 "Introduction to Cognitive Radio Systems in the land mobile service", 2011.
- ITU-R, Report M.2242 "Cognitive Radio Systems specific for IMT systems"
- ITU-R, "Provisional Final Acts: WRC-12", Feb. 2012, [Online], Available: <http://www.itu.int/md/R12-WRC12-R-0001/en>

## STANDARDIZATION BODIES: ETSI, ECMA, IETF

- ETSI focuses its work on CR solutions in the Reconfigurable Radio Systems (RRS) Technical Committee. Current key activities relate to:
  - Licensed Shared Access (LSA).
  - Secondary usage of TV white space (TVWS).
- ECMA (European Computer Manufacturers Association) has developed a standard for secondary usage of TVWS with a specific focus on home electronics equipment.
- IETF (Internet Engineering Task Force) is in the process of developing a protocol on how to access TVWS databases.



## NATIONAL LEVEL: USA

On a national level, the USA's FCC and the National Telecommunications and Information Administration (NTIA) have continued to spearhead the adoption of much more efficient and flexible radio spectrum regulations. The two bodies have proposed and developed several guidelines and regulations on how DSA technologies can be used to exploit both government and commercial/civilian spectrum in co-primary sharing and primary/secondary users sharing scenarios

- FCC, "Promoting Efficient Use of Spectrum Through Elimination of Barriers to the Development of Secondary Markets, Second Report and Order (WT Docket No. 00-230)", Sept. 2004.
- FCC, "Innovation in the Broadcast Television Bands: Allocations, Channel Sharing and Improvements (WT Docket No. 10-235)", Apr. 2012.
- FCC, "Statement from FCC chairman Julius Genachowski on Incentive Auction Legislation", Feb. 2012, [Online], Available: [http://transition.fcc.gov/Daily\\_Releases/Daily\\_Business/2012/db0217/DOC-312534A1.pdf](http://transition.fcc.gov/Daily_Releases/Daily_Business/2012/db0217/DOC-312534A1.pdf)
- FCC, "Amendment of the Commission's Rules with Regard to Commercial Operations in the 3550-3650 MHz Band", FCC-16-55, May 2016.

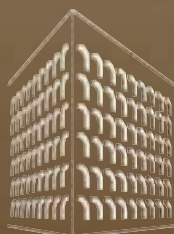
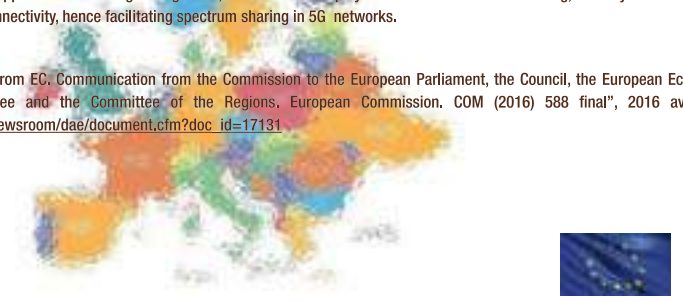


## NATIONAL LEVEL: EUROPE

The European Commission has proposed a series of initiatives designed to establish the right conditions for the necessary investments to take place, primarily to be achieved by the market, in the form of the accompanying legislative proposal for a European Electronic Communications Code and BEREC Regulation, and an Action Plan on 5G connectivity for Europe.

The proposed Code establishes key principles for spectrum assignment in the Union, new Union-level instruments to establish assignment deadlines and licence periods, and a peer review among national regulators to ensure consistent assignment practices. Moreover, it promotes a consistent approach to coverage obligations, to small-cell deployment and to network sharing, thereby stimulating 5G deployment and rural connectivity, hence facilitating spectrum sharing in 5G networks.

- EC, "5G action plan from EC. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. European Commission. COM (2016) 588 final", 2016 available: [http://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc\\_id=17131](http://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=17131)



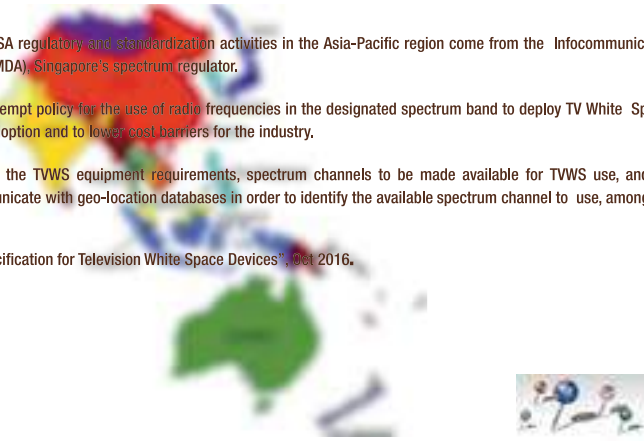
## NATIONAL LEVEL: ASIA PACIFIC REGION

Most of the pioneering DSA regulatory and standardization activities in the Asia-Pacific region come from the Infocommunications Media Development Authority (IMDA), Singapore's spectrum regulator.

IMDA adopts a licence-exempt policy for the use of radio frequencies in the designated spectrum band to deploy TV White Spaces (TVWS) technology to facilitate adoption and to lower cost barriers for the industry.

The regulations stipulate the TVWS equipment requirements, spectrum channels to be made available for TVWS use, and how such equipment should communicate with geo-location databases in order to identify the available spectrum channel to use, among others.

- IMDA, "Technical Specification for Television White Space Devices", Oct 2016.



## NATIONAL LEVEL: AFRICA

It is worth noting that most countries in the developing world including Africa are still lagging behind on the regulatory front pertaining to possible deployment approaches for DSA-CR technologies, with exception of the Information and Communication Technologies Authority (ICTA) of Mauritius.

- ICTA, "Annual Report on the development of the Information and Communication Industry in Mauritius: 2009", Jan. 2010, [Online], Available: [http://www.icta.mu/documents/publications/ict\\_report09.pdf](http://www.icta.mu/documents/publications/ict_report09.pdf)
- Ministry of Information and Communication Technology of Mauritius, "National Broadband Plan Policy: 2012-2020", Jan. 2012, [Online], Available: <http://www.icta.mu/documents/nationalbroadbandpolicy2012.pdf>



## CONCLUSION

- Need clear deadlines for when the spectrum is to be made available to the market
- Investors in the next generation of wireless broadband need:
  - more the predictability and consistency regarding future licensing models and the key conditions for assigning or renewing national spectrum rights.
  - a minimum license duration to ensure returns on investment
  - greater scope for spectrum trading and leasing
  - consistency and objectivity in market-shaping regulatory measures (reserve prices, auction design, spectrum blocks and caps, exceptional spectrum reservations or wholesale access obligations).
- On the other hand, operators should commit to use the spectrum assigned to them effectively.
- The shared use of spectrum, either on the basis of general authorization or individual rights of use, can enable more efficient and intensive exploitation of this scarce resource, and this is particularly relevant for the new, very short-range ("millimetre") spectrum bands foreseen for 5G communications.



# Dagli eventi

Administrative  
Human Resources  
Legal  
Accounting  
Marketing  
Production

Promotion  
Research  
Business  
Development  
Engineering  
Manufacturing  
Marketing

100m

WORLD

# Introduzione ai lavori

ING. GIOVANNI NICOLAI

## Obiettivi del Seminario

- Fornire informazioni sugli approcci sistemistici e tecnologici atti a garantire all'Italia un accesso indipendente all'orbita bassa terrestre.
- Sensibilizzare circa la strategicità di intraprendere a livello nazionale attività di sviluppo al fine poi di ottenere per l'Italia un ruolo di prestigio.
- Evidenziare che, senza specifici interventi in ambito pubblico, l'Italia perderebbe il controllo della posizione di attuale nell'ambito dell'accesso alle orbite basse raggiunto con il programma Vega.

Alternative Esaminate e Tecnologie:

1. Lancio da piattaforma aerea (da velivolo cargo e caccia)
2. Lancio da piattaforma navale (varie architetture)
3. Minisatelliti e Tecnologie
4. Analisi Costi e Rischi

# **Accesso e Sfruttamento Orbita Bassa Terrestre (LEO)**

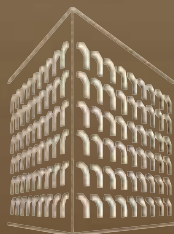
**Ing. Mauro Balduccini, Ing. Antonella Ingenito, Ing. Giuseppe Rondinelli;  
Ing. Francesco Soldani, Ing. Luciano M. Trentadue, Ing. Mauro Zelli**

## **SCOPO → «MESSAGGIO VERSO I «DECISION MAKERS» IN AMBITO PUBBLICO»**

- Fornire informazioni sugli approcci sistemistici – tecnologici atti a garantire all'Italia un accesso indipendente all'orbita bassa terrestre;
- Sensibilizzare circa la strategicità di intraprendere immediatamente al livello nazionale attività di sviluppo di base delle tecnologie chiave, al fine poi di ottenere per l'Italia un ruolo di prestigio sui progetti a venire in ambito europeo civile e militare (difesa comune);
- Evidenziare che, senza specifici interventi (organizzativi e di finanziamento) in ambito pubblico, l'Italia perderebbe rapidamente il controllo della posizione di attuale leadership nell'ambito dell'accesso alle orbite basse, «faticosamente» ottenuta tramite il finanziamento pubblico del programma Vega.

## **CONTENUTO**

- 1 Introduzione
  - 1.1 Team di sviluppo dei contenuti e architettura seminario
  - 1.2 Premesse
  - 1.3 Scenario Mondiale, Europeo e Nazionale
- 2 Accesso e sfruttamento Orbita bassa Terrestre (LEO)
  - 2.1 Analisi SWOT del posizionamento attuale Nazionale
  - 2.2 Visione e obiettivi collegati
  - 2.3 Tecnologie abilitanti
    - Lancio da piattaforma aerea
    - Lancio da piattaforma navale
    - Tecnologie a lungo termine
    - Segmento di terra e reti di trasmissione
    - Microsatelliti
  - 2.4 Tempi di sviluppo e approccio di riduzione del rischio
  - 2.5 Valutazione preliminare dei costi non ricorrenti e ricorrenti
- 3 Considerazioni





## 1. INTRODUZIONE

### 1.1 TEAM DI SVILUPPO DEI CONTENUTI E ARCHITETTURA DEL SEMINARIO

- Il «progetto» di questa presentazione (scopi, e identificazione di come raggiungerli) è stato eseguito dai componenti la Commissione Aerospazio dell'Ordine degli Ingegneri (Odl) di Roma;
- Questo è stato possibile in quanto l'Odl è in possesso di capacità e informazioni tecniche al livello industriale, senza subire il «condizionamento» generato, nell'industria privata, dalla proprietà, solitamente a carattere internazionale, o dal mercato; francese, in ambito spazio/ Lanciatori europeo;
- I contributi strategici della presentazione sono stati quindi sviluppati da organizzazioni i cui obiettivi potrebbero contribuire a quelli della strategia nazionale (Università, Difesa, Odl...); all'industria è stato offerto di contribuire a tale sviluppo;
- Il contenuto di questa presentazione riflette il parere professionale degli autori, e non implica alcuna condivisione da parte delle rispettive organizzazioni di attuale, o passata, appartenenza. Nota: In particolare, la presentazione di parte del contenuto seguente da parte di personale AM non implica che la totalità dei contenuti costituisca posizione di AM/AD;
- Il trasferimento delle pure informazioni previste richiede la totalità del tempo disponibile, pertanto non sarà possibile inserire estesi ambiti di discussione; a tale scopo, un format di raccolta osservazioni verrà circolato tra i partecipanti e sarà successivamente elaborato.

*Ulteriori feedback potranno essere inviati a: ing. Stefano Cottellacci ([aerocott@gmail.com](mailto:aerocott@gmail.com))*

### 1.2 PREMESSE (generali)

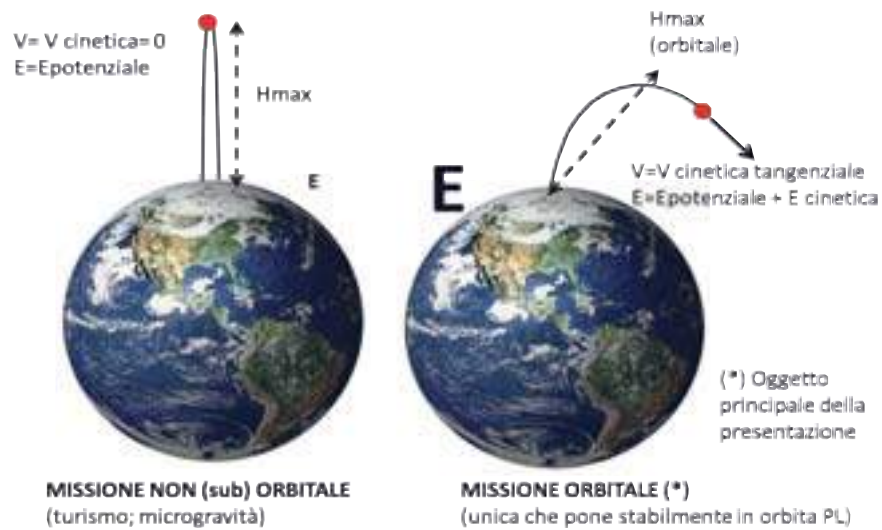
- L'Italia oggi non dispone di un accesso indipendente allo spazio;
- L'Europa può accedere allo spazio solo tramite un «accordo» con la Francia che le consente di accedere al poligono di lancio posto sul territorio francese della Guyana; l'autorità che rilascia il consenso al lancio è nazionale francese;
- Né l'Europa, né i suoi singoli Stati, possiedono un sistema di accesso rapido allo spazio che consenta di gestire situazioni di emergenza civile o militare (necessità di probabile emersione nell'ambito dello sviluppo di una difesa europea);
- In Europa, solo Francia ed Italia hanno sviluppato lanciatori; la capacità Italiana è stata raggiunta mediante il finanziamento pubblico del programma del piccolo lanciatore VEGA (1500 Kg in LEO), e dopo un lungo e conflittuale processo di negoziazione in ambito europeo, e bilaterale con la Francia.

### 1.2 PREMESSE (tecniche):

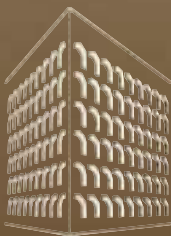
- Definizione adottata in questa presentazione per accesso allo spazio: capacità di inserimento in orbita terrestre «stabile» (i.e. altitudine uguale o superiore ai 400Km).

Accedere allo spazio non è semplicemente «poter raggiungere altitudini elevate», obiettivo che richiede energie molto minori di quelle necessarie per «restarci» in condizioni chiamate «orbitali».

Vedi prossima viewgraph (attenzione, altezza orbitale completamente fuori scala!!).

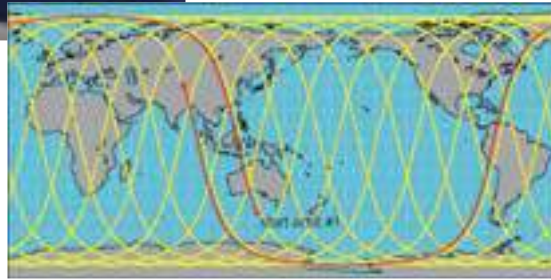


- Da un sito di lancio si può accedere ad inclinazioni orbitali solo maggiori o uguali alla sua latitudine (i.e. per Italia, da circa 40 gradi in su);
- Da una certa inclinazione orbitale  $x$  è possibile osservare la terra limitatamente alla fascia angolare  $\pm x$ ;
- Un sito di lancio (orbitale) deve poter disporre di una zona non significativamente popolata estesa per circa 5000 Km nella direzione di lancio, al fine di non costituire rischio per le popolazioni sorvolate in caso di incidente nella fase di ascesa orbitale (origine della impossibilità di lancio da poligono terrestre situato sul territorio Italiano).

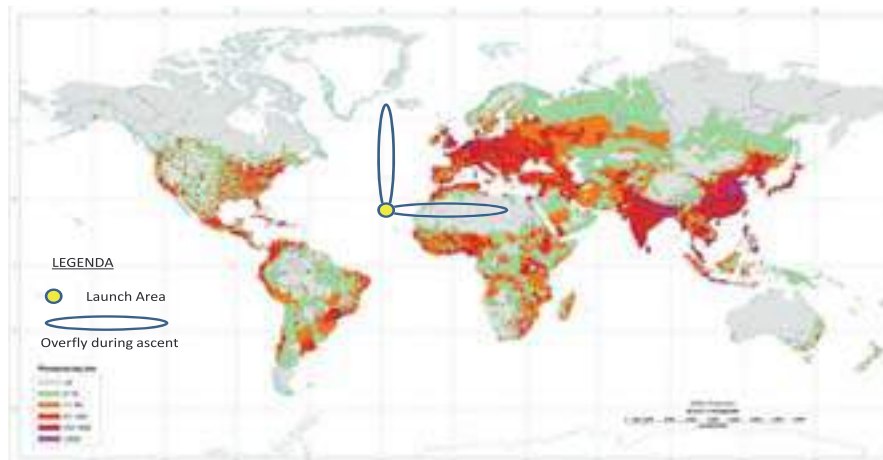




Traccia a terra per orbita ad inclinazione intermedia (Cape Canaveral)



Traccia a terra per orbita ad alta inclinazione (polare)



Esempio di area di lancio compatibile per inserimento orbitale a qualsiasi inclinazione



## 1.3 SCENARIO MONDIALE, EUROPEO E NAZIONALE

Scenario mondiale (dati consuntivo 2017)

Quanti lanci/anno: 90

Per accedere dove: 55% in LEO; 45% in >LEO; «escape» trascurabili (nota \*)

Eseguiti da chi: USA+Russia+China = 73% totale; 80% LEO; 65% >LEO

Utilizzando quali Lanciatori:

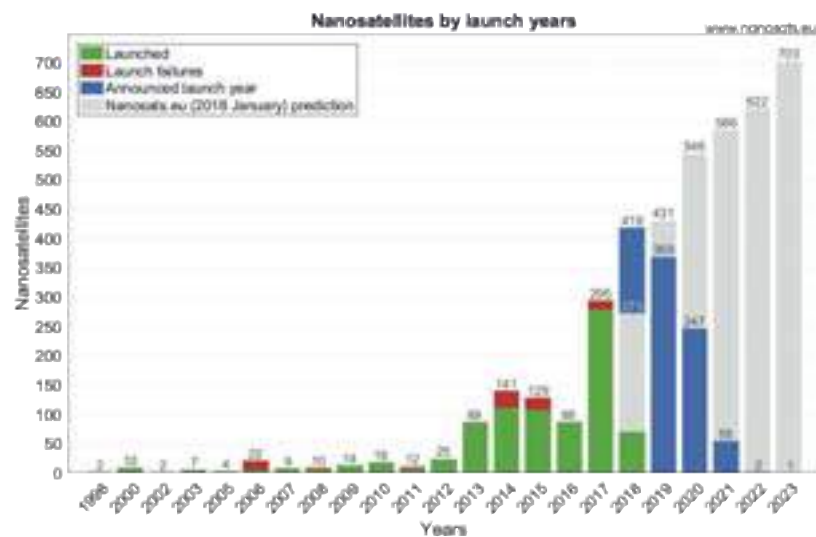
Falcon9 USA (18/90); Russia R-7 (14/90); China CZ Lunga Marcia (13/90); lanciatori «non piccoli»

In quale contesto commerciale: commerciale, ove non missione «captive»

Quali trend si evidenziano:

- Forte incremento lanci USA in LEO (da 3 in 2016 a 11 in 2017)
- EU sottorappresentata in LEO, anche se PL per VEGA previsti da ESA in drastica espansione (>100% nel periodo 2018-2024)

(\*): Lanci LEO permettono, e permetteranno sempre più, anche missioni >LEO (GEO) utilizzando propulsione elettrica; intuizione italiana alla nascita progetto VEGA



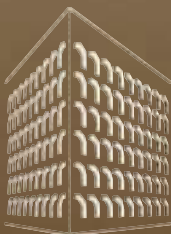
**NOTA: Si miniaturizzano prima i carichi Utili che i lanciatori**

**L'analisi della composizione dei Carichi Utili inseriti in orbita LEO da recenti lanci di piccoli o medi lanciatori evidenziano che il drastico aumento verso il «piccolo» riguarda già oggi il solo Satellite.**

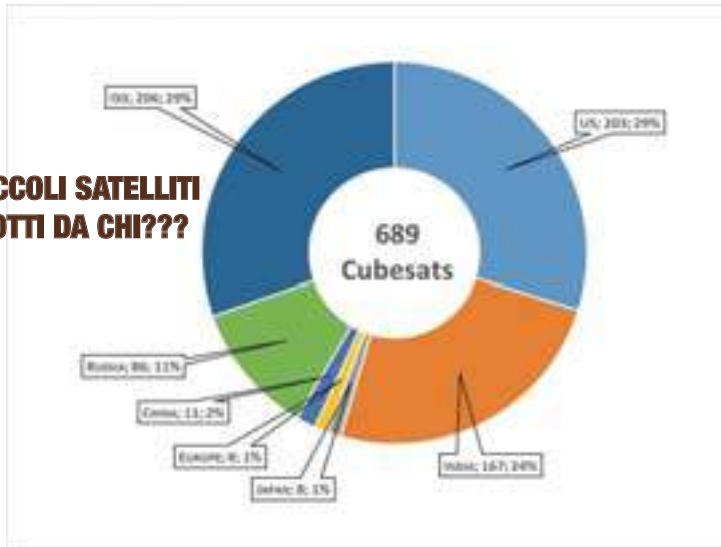
**Vedi caso del lancio del PSLV con 104 Carichi Utili in un'unica missione (15/feb/2017):**

- 1 main passenger da 714Kg (India) + 103 nanosat nel range 1-6 Kg (di cui 96 USA, 1 Svizzera, Kazakhstan, Israel, Olanda, United Arab Emirates)

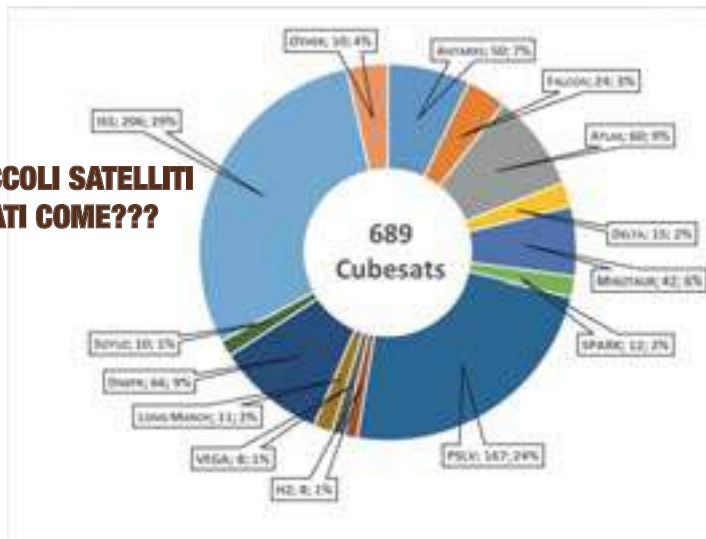
**Per un totale al lancio di 1378 Kg**



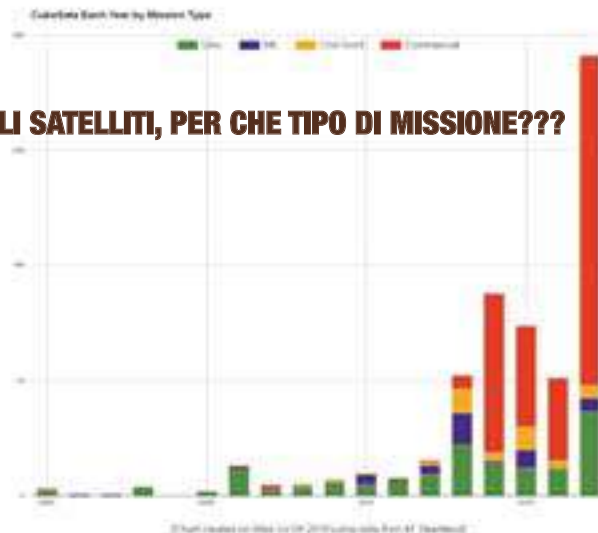
**.....PICCOLI SATELLITI PRODOTTI DA CHI???**



**.....PICCOLI SATELLITI LANCIATI COME???**



**.....PICCOLI SATELLITI, PER CHE TIPO DI MISSIONE???**



La grande quantità di piccoli satelliti (i.e. sotto ai 100 Kg) che si stanno realizzando oggi **devono accettare** di imbarcarsi su lanciatori di media dimensione in quanto oggi sono più disponibili sul mercato, e possono godere di un certo vantaggio sui costi in quanto il lanciatore è utilizzato per un numero maggiore di clienti.

Nota: d'altra parte il dover imbarcare il proprio (piccolo) satellite su un lancio comune a molti altri clienti, **riduce enormemente (annulla) qualsiasi flessibilità su tempistica, dati orbitali, logistica pre lancio** etc, che costituiscono uno dei fattori più importanti per il cliente individuale.

→ Chi disporrà per primo di piccoli lanciatori (ovviamente con prezzo «compatibile» ai vantaggi offerti) potrà conquistare elevate % di mercato commerciale.

### **Scenario Europeo**

- Monopolio produttori LV (Airbus per Ariane e **ELV** (\*) per Vega);
- Arianespace è commercializzatore unico dei lanci e include nella proprietà produttori parti LV (conflitto di interesse potenziale);
- Piano dei lanci tra A5, Soyuz (\*\*) e Vega da **accordo** di ripartizione delle capacità di lancio del poligono CSG, attualmente vicine a saturazione (\*\*\*);
- Numerosi paesi europei hanno dichiarato interesse a partecipare allo sviluppo di un nuovo piccolo lanciatore (classe sotto i 500Kg in LEO).

(\*) «Brand» oggi non più operativo e attività LV fatte confluire in AVIO.

(\*\*) Lanci Soyuz da CSG impiegano lanciatore di origine industriale totalmente non europea.

(\*\*\*) Lanci di A5 o Soyuz generano ricavi molto maggiori di quelli di Vega.

### **Scenario Italiano**

- Acquisizione della capacità italiana a sviluppare Sistemi di Lancio orbitali: anno 2012, programma europeo VEGA, a guida Italiana, e dopo (\*) 10 anni di sviluppo e finanziamenti dell'ordine di 500M€, per la metà erogati dall'Italia;
- Nessun ruolo sistemistico per l'Italia è previsto nel programma di sviluppo del sostituto di A5 (Ariane 6);
- L'industria nazionale italiana è in grado di produrre gran parte delle parti di un lanciatore orbitale;
- Non è possibile effettuare lanci orbitali da una base posta sul territorio italiano (problemi di sorvolo di aree popolate); si ritiene che utilizzare il poligono di Malindi (in Kenya) richiede delle valutazioni sia tecnico operative che soprattutto politiche in quanto la sua operatività richiederebbe ingenti finanziamenti, incompatibili con l'assenza di controllo italiano sull'area del poligono.

(\*) dati approssimati





## 2 Accesso e sfruttamento orbita bassa Terrestre (LEO)

2.1 Analisi SWOT relativa al posizionamento dell'Italia nell'ambito dei sistemi di accesso e sfruttamento dell'orbita bassa terrestre.

### Punti di forza

S1: Apprezzamento internazionale del progetto del piccolo lanciatore Vega a guida Italiana (ELV);  
S2: Competenza nazionale consistente, anche nei settori collaterali ai sistemi di lancio quali: Segmento di terra (Telespazio), Infrastrutture di lancio (Vitrociset), Veicoli di rientro e simulazione condizioni ambientali (CIRA), sistemi di lancio per impiego militare (MBDA);  
S3: Qualificata presenza e creatività sia in ambito accademico che industriale (incluso PMI), relativamente all'area Lanciatori;  
S4: possibilità di fornire una alternativa di acquisto dei lanci rispetto a quella offerta da paesi «politicamente più vincolanti» dell'Italia (USA, Russia e Cina).

### 2.1 Punti analisi SWOT

#### Punti di debolezza

W1: Apparente poco collegamento e cooperazione tra le varie aree di amministrazione pubblica verso lo sfruttamento delle potenzialità nazionali di servizio in ambito sistemi di lancio;  
W2: Non sufficiente visibilità e perseguimento di una visione strategica nazionale che miri al raggiungimento delle opportunità e ruoli strategici, tramite la definizione di un piano di sviluppo specifico «multi-programma»;  
W3: Poco collegamento e sinergia tra le varie componenti accademiche e di ricerca operanti nel settore spazio e Lanciatori.

#### Opportunità

O1: Acquisire un ruolo chiave per lo sviluppo di un sistema di lancio a supporto di missioni a rapida implementazione (contesto europeo di difesa comune);  
O2: Acquisire il ruolo di Nazione leader per tutte le attività e servizi relativi all'orbita bassa terrestre (LEO), incluso accesso, operazioni di volo e trasferimento orbitale, operazioni e veicoli di rientro a terra (vedi visione nel seguito);  
O3: Poter rivestire un ruolo significativo nel futuro sviluppo di un nuovo sistema di lancio (fortemente innovativo) mirato per carichi utili dell'ordine del Kg e inferiori (vedi seguito area tecnologie);  
O4: Allungare la catena del valore dei servizi di lancio, includendo le attività di prova dei PL per qualificarli all'utilizzo dei lanciatori commerciali.

#### Minacce

T1: Perdita di efficacia nel controllo degli interessi nazionali a fronte del fatto che essi sono rappresentati da una componente industriale con proprietà «non nazionale»;  
T2: Perdita della disponibilità delle risorse sistemistiche lanciatori a causa della non partecipazione italiana nel team di sistema A6 (ed in caso di non avvio di sistemi di lancio nazionali);  
T3: Creazione di una leadership, alternativa a quella Italiana, per piccoli lanciatori (vedi elevato interesse e programmi di sviluppo in ambito Paesi dell'Est e Nord Europa);  
T4: Perdita progressiva dei «risultati» acquisiti tramite il finanziamento del programma Vega, considerando che la documentazione completa relativa al progetto e all'esperienza di volo risiede, ed è processata in dettaglio, principalmente in una organizzazione a carattere privato.

## 2.2 VISIONE E OBIETTIVI COLLEGATI (nota 1)

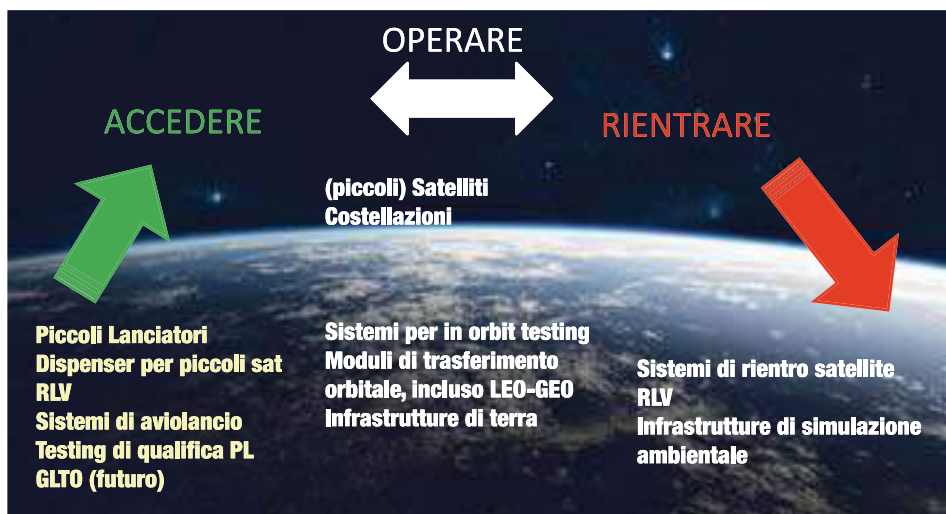
**VISIONE:** Italia come Nazione chiave per tutto quanto si riferisce all'orbita bassa terrestre (LEO): come accedervi, come operarvi, e come abbandonarla.

Obiettivi immediatamente collegati:

Per poter gestire le operazioni in LEO l'Italia deve potervi accedere in maniera indipendente.

Nota 1: la visione costituisce convinzione degli autori della presentazione, e non si basa su atti dell'Amministrazione o di singole industrie, ne costituisce visione definita da AM/AD.

### LEADERSHIP NAZIONALE PER L'ORBITA BASSA TERRESTRE



## 2.3 TECNOLOGIE ABILITANTI L'ACCESSO AL LEO

Nel seguito sono prese in esame le seguenti opzioni sistemistiche per consentire l'accesso allo spazio:

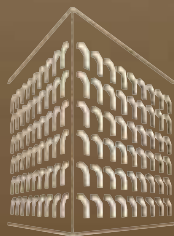
- (\*) Lancio da piattaforma aerea (da velivolo cargo e caccia);
- (\*) Lancio da piattaforma navale (varie architetture);
- Tecnologie a lungo termine (>10 anni).

In termini di tecnologie abilitanti l'accesso allo spazio, si presentano le seguenti:

- Segmento di terra/Reti Mondiali;
- Microsatelliti (soprattutto per lanci da piattaforma aerea).

Breve descrizione nelle viewgraph seguenti.

(\*): tecnologia chiave per possibile accesso indipendente allo spazio da parte dell'Italia.

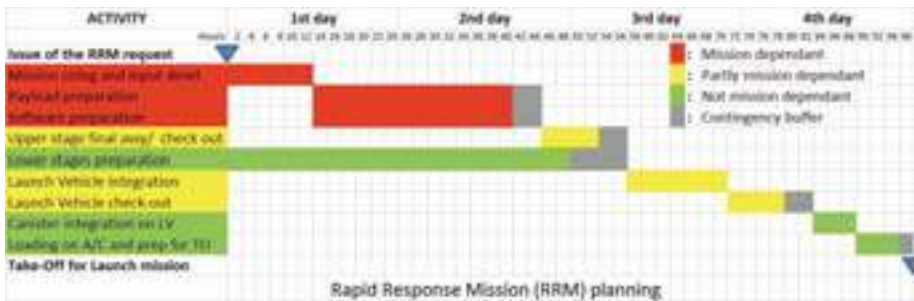
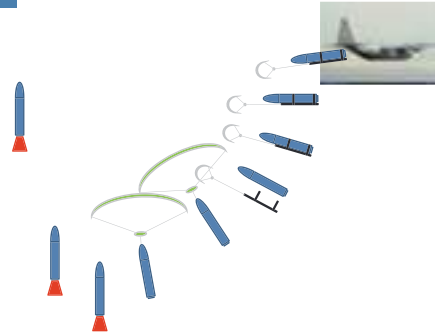


## Aviolancio da piattaforma aerea di tipo Cargo



**Velivolo selezionato: C130J e A400M (\*)**  
**Prestazione: 100-150Kg a 400Km**  
**Tempo di attivazione: 4 giorni**

**(\*) bi-compatibilità**



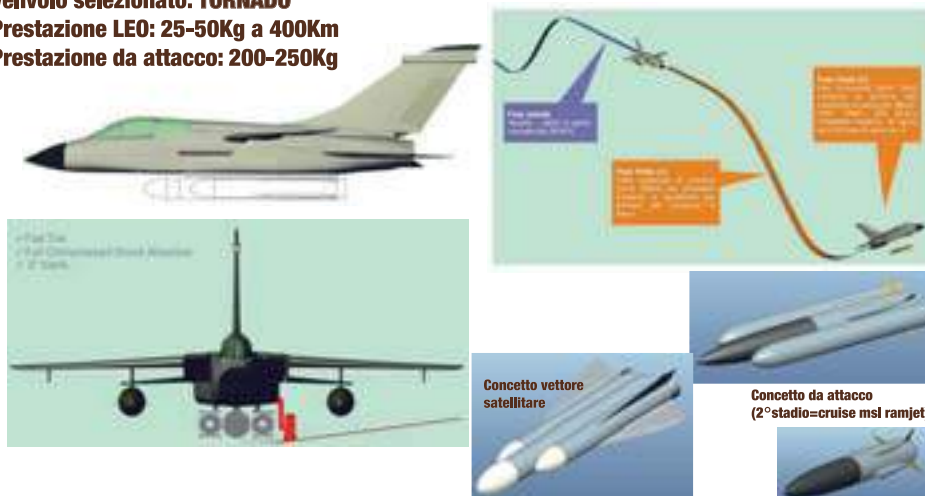
**Dettaglio del planning di allestimento della missione di intervento rapido in condizioni emergenziali**

APPROCCIO AL LANCIO	SVANTAGGI	VANTAGGI
Aviolancio da piattaforma aerea tipo cargo (A400M/ C130J)	<p>Complessità tecnica della estrazione dal velivolo</p> <p>Non possiede capacità di crescita della prestazione orbitale, senza cambiare le caratteristiche del velivolo</p> <p>Nessun sfruttamento energetico derivante dalla velocità dell'aereo</p> <p>Velivolo con autorità di progetto e commercializzazione al di fuori del controllo italiano</p>	<p>Piattaforma aerea esistente e già qualificata per estrazione di carichi utili dal vano cargo, del peso e dimensioni necessarie per il Lanciatore</p> <p>Capacità di eseguire missioni tipo "Rapid Response"</p> <p>Ottima occultabilità delle manovre pre lancio</p> <p>Ottimizzazione del punto di lancio (base mobile)</p> <p>Capacità di raggiungere buone prestazioni orbitali (&gt;100Kg in LEO)</p>



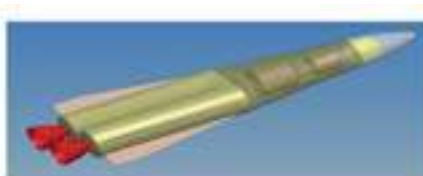
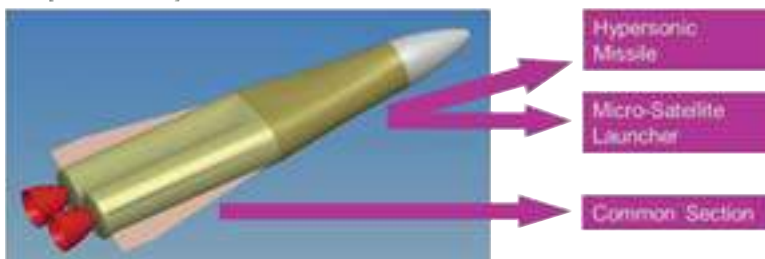
## Aviolancio da piattaforma aerea di tipo Caccia

**Velivolo selezionato: TORNADO**  
**Prestazione LEO: 25-50Kg a 400Km**  
**Prestazione da attacco: 200-250Kg**



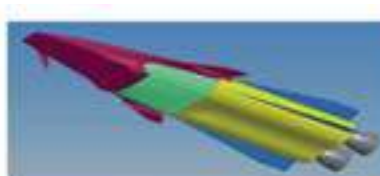
### MURALM : "Multi Role Air Launch Missile"

- Prima sezione composta da due booster ( propulsione solida ) e comune a due configurazione ( lanciatore – missile)
- Seconda sezione configurabile per dual-role (secondo stadio del lanciatore per microsattelliti o missile supersonico)



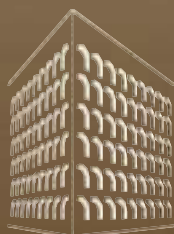
**MURALM for Microsatellite**

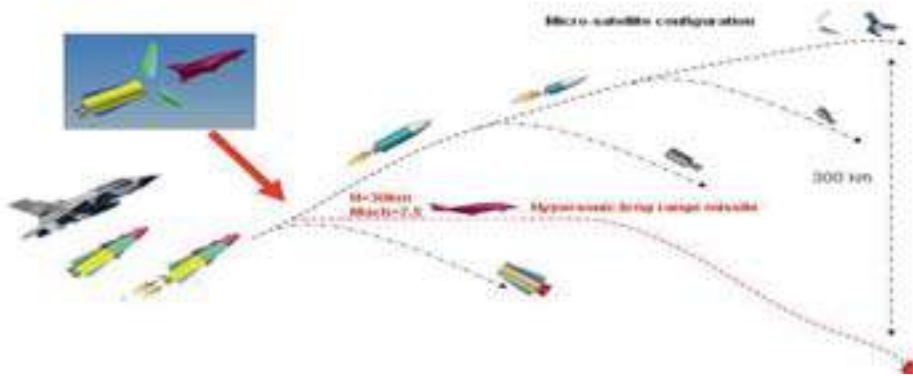
Orbits up to 300km/700km (EQUATORIAL)  
 Payload up to 60kg/40kg (micro-SAT)  
 Orbits up to 350/700km (POLAR)  
 Payload up to 20kg/10kg (nano-satellite)



**MURALM for Hypersonic Missile**

Hypersonic Missile Release Altitude 30-10M  
 Cruise Velocity: mach 7.5





### Aviollancio da piattaforma aerea di tipo Caccia Vantaggi e Svantaggi

APPROCCIO AL LANCIO	SVANTAGGI	VANTAGGI
Aviollancio da piattaforma aerea tipo caccia (Tornado)	<p>Prestazione orbitale marginale (&lt;50Kg)</p> <p>Non possiede capacità di crescita della prestazione orbitale, senza cambiare le caratteristiche del velivolo.</p> <p>Limitata Compatibilità con diversi velivoli (ingombri, massa)</p>	<p>Ottimizzazione del punto di lancio (base mobile).</p> <p>Iniezione in orbita più agevole (manovra fuori piano eseguita da aereo): minimizzazione consumo carburante per il missile.</p> <p>Capacità di eseguire missioni tipo "Rapid Response"</p> <p>Buona occultabilità delle manovre pre lancio</p> <p>Compatibilità con versioni da attacco (elevata capacità di eseguire missioni duali)</p>

### Lancio da piattaforma marittima trainata/autopropulsa dedicata



Elementi chiave del sistema di lancio SEA LAUNCH: piattaforma di lancio e nave di trasporto, appoggio e controllo.



Caricamento del lanciatore  
nella nave di trasporto

Trasferimento della  
piattaforma di lancio

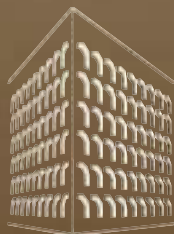


### SEA LAUNCH:

- Consorzio creato nel 1995 tra Norvegia, Russia, Ucraina e Stati Uniti; gestione eseguita da Boeing. Primo lancio nel Marzo 1999;
- Insuccesso commerciale;
- Dimostrata fattibilità tecnica e sviluppate operazioni (diverse decine di lanci eseguiti utilizzando lanciatore Zenit 3SL: 60m, 3.9m diametro, **462t** al lancio per trasporto in GTO di 6t PL);
- Prestazione in LEO senza particolari limiti (i.e. anche oltre prestazioni VEGA: 30m, 3m diametro, **137t** al lancio, trasporto 1.5t in LEO);
- Elevato rateo di lancio è indispensabile per il sostegno degli elevati costi di mantenimento della infrastruttura (circa **30M€/anno**, come da documentazione Boeing).

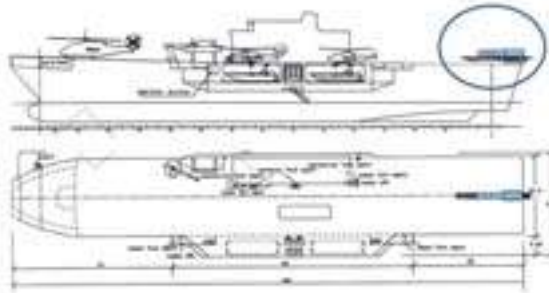
### Lancio da piattaforma marittima trainata/ autopropulsa (Vantaggi e Svantaggi)

APPROCCIO AL LANCIO	SVANTAGGI	VANTAGGI
Lancio da piattaforma marina trainabile o da piattaforma autopropulsa (tipo Sea Launch)	<p>Nessuna capacità di eseguire missioni tipo "Rapid Response"</p> <p>Richiede lo sviluppo di una infrastruttura (la piattaforma) dedicata per le operazioni di lancio</p> <p>Nessuna occultabilità</p> <p>Elevati costi per il mantenimento delle infrastrutture (piattaforma di lancio)</p> <p>Elevati tempi di trasporto della piattaforma verso i siti idonei al lancio</p>	<p>Ottime caratteristiche di protezione della sicurezza del personale (piattaforma senza personale a bordo durante le operazioni di lancio)</p> <p>Ottima capacità adattamento in caso di incremento delle dimensioni / peso del lanciatore</p> <p>Approccio a basso rischio tecnico e di sviluppo in quanto già esistente (Sea launch)</p>





## Lancio da nave tramite infrastruttura (rampa) mobile



Due diverse tipologie di missioni considerate:

- a) Inserimento orbitale
- b) Missione tattica di trasporto/ osservazione (suborbitale supersonica)

*Nota: missioni da considerare pure «prime ipotesi» e ancora da analizzare e ottimizzare*

Nave identificata come potenziale candidata: Nave da sbarco classe San Marco.

Vantaggi specifici:

- Ampio ponte di volo, ponte hangar coperto con elevatore (unico limite alle dimensioni del lanciatore)
- Ampi spazi coperti (sezioni autorimessa e hangar)
- Autonomia logistica.
- Compatibilità con vettori di dimensioni significative



Sistema di lancio derivabile da quello utilizzato per missile TOPOL – M (Russia):  
**47t; 22m; 1.95m diametro**

Caratteristiche già compatibili con inserimento orbitale LEO di carichi utili maggiori di 150Kg

Nota: la parte «veicolo di trasporto» potrebbe non essere imbarcata, per ragioni di massa, centro di gravità e complessità di ancoraggio.



## Lancio da nave tramite infrastruttura (rampa) mobile (Vantaggi/Svantaggi)

APPROCCIO AL LANCIO	SVANTAGGI	VANTAGGI
Lancio da Nave/ tramite rampa di lancio mobile	<p>Criticità per la sicurezza del personale imbarcato in caso di incidente al lancio</p> <p>Ridotte capacità di eseguire missioni tipo rapid response (tempo di trasferimento alla zona di lancio)</p> <p>Limite superiore alla capacità di adattamento in caso di aumento dimensioni / peso Lanciatore*</p>	<p>Infrastruttura di lancio di ridotta complessità in quanto basata su disaccoppiamento struttura di lancio (Rampa elevabile) e piattaforma di trasporto e lancio (nave)</p> <p>Conseguenti tempi e costi di sviluppo notevolmente ridotti</p> <p>Compatibilità con vettori di dimensioni adeguate e capacità di esecuzione di più di 1 lancio a missione</p> <p>Capacità di sinergia con Paesi che hanno già sviluppato infrastrutture mobili per il lancio da terra.</p>

\* - N.B. - il tutto dipende dalle dimensioni e configurazione della nave utilizzata come piattaforma di lancio. Una fregata avrebbe capacità limitate, rispetto ad una nave a ponte di volo continuo

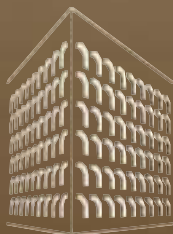
## Lancio da nave tramite Vertical Launch System (VLS)

- Il requisito di interfacciabilità con il pozzo di un modulo lanciatore Sylver A50 impone un limite all'ingombro trasversale (calibro) massimo del vettore.
- La lunghezza complessiva del vettore deve essere ragionevolmente contenuta, per limitare la sporgenza al di sopra del ponte di coperta.



L'ingombro massimo di un Modulo di Lancio Per Vettore Orbitale, da installare al posto di un sylver A50 (o A70) impone, tenuto conto delle dimensioni del pozzo, delle clearances necessarie, e degli spessori stimati di struttura di base, interfacce, guide, etc. impone uno spazio massimo sfruttabile di impronta a terra di  $x1 \times x2$  mm. Questo impone un massimo diametro sfruttabile di 1600mm (rif.) e un analogo ingombro massimo di sezione maestra.

Possibilità di uso duale del lanciatore (cruise supersonico - Derivato dal concetto aviolancio 2 tipo caccia)



APPROCCIO AL LANCIO	VANTAGGI	SVANTAGGI
Lancio da Nave/ tramite Vertical Launch System (VLS)	Buona prospettiva di utilizzo duale Buona occultabilità Similarità delle operazioni rispetto a quelle per missilistica non orbitale	Criticità per la sicurezza del personale imbarcato in caso di incidente al lancio Basse capacità di offrire adattamento in caso di aumento dimensioni / peso Lanciatore Necessità di adottare ampi condotti di venting del getto del primo stadio, oppure necessità di sviluppare un sistema cold launch in grado di gestire masse significative del lanciatore.

## TECNOLOGIE A LUNGO TERMINE; GUN LAUNCH TO SPACE (GLTO)

### *Cosa è; obiettivo:*

consiste in una infrastruttura di terra in grado di accelerare un «piccolo» carico utile (<1Kg e < 0.1m) sino a velocità compatibili con l'inserimento orbitale (8-10 Km/s) ed indirizzarlo verso LEO. Il tutto con elevato rateo giornaliero di lancio (>10/giorno).

### *Cosa è stato fatto/ quando:*

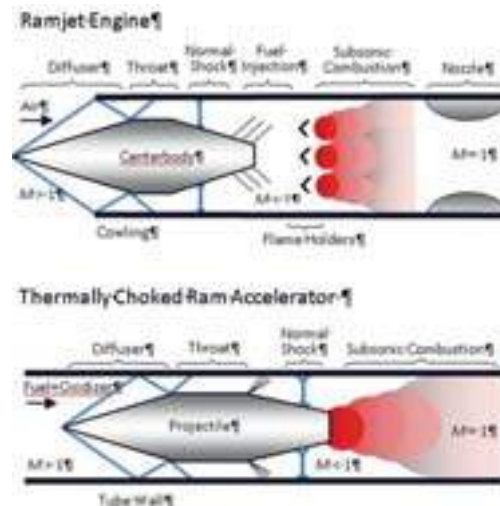
Tentativi numerosi e sviluppati, senza successo, da numerose «organizzazioni» già da molti decenni (evidente sinergia con utilizzazione in ambito militare).

### *Quali approcci tecnici sono stati perseguiti (estratto):*

Classe approcci termici: propulsione chimica, accelerazione ad onde esplosive, sistemi utilizzando plasma, sistemi elettrochimici, sistemi a gas, sistemi basati su propulsione RAM/ SCRAM, sistemi misti gas + RAM.

Classe approcci elettromagnetici: sistemi induttivi, sistemi ad accelerazione su rotaia, sistemi ibridi.

### Un paio di esempi





### **Perché oggi esistono speranze di raggiungimento obbiettivo?**

Due principali recenti «evoluzioni tecnologiche»:

- Enorme aumento capacità componentistica elettronica di resistere a carichi di shock (sviluppo munizionamento);
- Drastico aumento della capacità di miniaturizzazione in campo meccanico ed elettronico e che rende possibile considerare come interessante un carico utile orbitale anche per masse sotto al Kg.

Una impostazione di ricerca non utilizzata nel passato:

- I - Accurata analisi tecnica di tutti gli approcci perseguiti nel passato + identificazione degli elementi che hanno causato i singoli insuccessi;
- II - Identificazione del «mix» tecnologico potenzialmente in grado di superare le limitazioni caratteristiche dei sistemi realizzati nel passato;
- III - Sviluppo delle analisi di fattibilità tecnica, economica e di impatto ambientale e normativo.

## **Segmento di terra e reti di trasmissione**

### **Quali elementi servono al fine di poter fornire il supporto alle missioni nazionali indipendenti utilizzando gli approcci di lancio presentati?**

Segmento di terra classificabile nelle seguenti aree specifiche:

- **Area «AIT»** (magazzino parti lanciatore e PL, sviluppo del software di missione, integrazione finale e prova di accettazione lanciatore);
- **Area «LAU»** Supporto dell'evento di Lancio (sino completamento missione lanciatore): trasporto al sito di lancio, erezione lanciatore e calibrazione strumentazione, lancio, operazioni area di controllo lanciatore e volo (short range e far range per copertura sino a fine missione lanciatore);
- **Area «COM»** Comunicazione in fase operativa di missione.

AIT: Base Operativa di riferimento a terra (territorio Nazionale)

AIT: Area e infrastruttura per integrazione PL e Lanciatore (compreso propellenti)

LAU: Mezzo di trasporto al sito di lancio

LAU: Infrastruttura di erezione e lancio

LAU: Infrastruttura di comando e controllo lancio

LAU: Infrastruttura di back-up (safety) per gestione comandi di sicurezza

LAU: Infrastruttura/ rete di rilevamento a terra per controllo ascesa in orbita

LAU: Mezzo di trasporto per rientro al territorio Nazionale

COM: Infrastruttura di comunicazione tra PL e terra durante fase operativa di missione

..... Trattati nel seguito

**Cosa è disponibile o meno in ambito nazionale? (D= disponibile; A= adattabile; ND= non disponibile).**

**Ci sono/ Quali sono, differenze significative di necessità/ criticità per i diversi approcci al lancio?**

**Quali sono le criticità (tecniche, economiche, altre): CT= Criticità tecnica; CE= Criticità economica).**

**AIT: Base Operativa di riferimento a terra (territorio Nazionale); A  
Necessaria per tutti gli approcci presentati.**

**AIT: Area e infrastruttura per integrazione PL e Lanciatore (compreso propellenti); ND; CE.**

**Necessaria per tutti gli approcci presentati; nel caso navale, parte delle operazioni di integrazione e prova potrebbe essere eseguita durante il trasporto al sito di lancio.**



LAU: Mezzo di trasporto al sito di lancio; A  
Piattaforma aerea o navale a seconda dell'approccio considerato.

LAU: Infrastruttura di erezione e lancio; ND; CT; CE  
Necessaria, e dedicata, per ciascun approccio di lancio.

LAU: Infrastruttura di comando e controllo lancio; A  
Necessaria per ogni approccio presentato; può coincidere con il mezzo di trasporto al sito di lancio.

LAU: Infrastruttura di back-up (safety) per gestione comandi di sicurezza; A  
Necessaria per ogni approccio presentato, agisce in caso di indisponibilità / anomalia del infrastruttura nominale.

LAU: Infrastruttura/ rete di rilevamento a terra per controllo ascesa in orbita; D  
Necessaria per ogni approccio presentato.

LAU: Mezzo di trasporto per rientro al territorio Nazionale; A  
Piattaforma aerea o navale a seconda dell'approccio considerato.

DOM: Infrastruttura di comunicazione tra PL e terra durante fase operativa di missione; D  
Possibile utilizzare reti di comunicazione commerciali o di disponibilità nazionale.

## MICROSATELLITI

Al fine di supportare, o meno, l'opportunità di uno sviluppo nazionale della capacità di inserimento orbitale specifico per piccoli satelliti (in particolare della classe MURALM e SALTO) si è ricercata risposta ai seguenti principali interrogativi:

- E' prevedibile, nel breve-medio, un numero consistente di piccoli satelliti a fronte degli interessi nazionali e internazionali? Per quali tipologie di missione?
- Quali sono le tecnologie critiche che oggi limitano la riduzione di peso e dimensioni dei piccoli satelliti?

***E' prevedibile, nel breve- medio, un numero consistente di piccoli satelliti a fronte degli interessi nazionali e internazionali? Per quali tipologie di missione?***

Nel 2014 è stata sviluppata una intensa attività sotto il titolo:

-Missioni con Piccoli Satelliti ad Alta tecnologia- (Marzo 2014):

Ambito: CESMA (Centro Studi Militari Aeronautici)

Guida: Aeronautica Militare Italiana; Gen. Isp. G.A. Bianchi, Ing. Lucio

Organizzazioni partecipanti:

Difesa

Enti Istituzionali: DPC

Industrie: ACS, Avio, OGS, INTECS, MBDA, Planetek, PSI, Selix Space Engineering, Telespazio,

Thales Alenia

Università: La Sapienza

Associazioni: CESMA (con pubblicazione rapporto finale pubblico nella serie: -I quaderni del CESMA-)

Raccolte ed analizzate 32 piccole missioni considerate rappresentanti degli interessi nazionali e del mercato commerciale potenziale applicabile nel breve-medio periodo; risultati dalla tabella seguente:

Missione/ PL	Totale Missioni	Compatibili con MURALM (20-50Kg)	Compatibili con SALTO (100-200Kg)
EO OTTICO	14	1	6
EO Microonde	11	1	7
Telecomunicazioni	6	2	6
ELINT	1	0	1
<b>Totale:</b>	<b>32</b>	<b>4</b>	<b>20</b>

### **Quali sono le tecnologie critiche che oggi limitano la riduzione di peso e dimensioni dei piccoli satelliti?**

Da un punto di vista generale di sistema:

- Disponibilità di potenza elettrica (sia generazione che controllo e distribuzione);
- Capacità di dissipazione termica;
- Micro propulsione (in particolare elettrica).

In particolare i seguenti ambiti sono stati identificati come driver per lo sviluppo e diffusione dei piccoli satelliti:

- STANDARDIZZAZIONE (delle interfacce, dei moduli, degli apparati, dei sottosistemi ...);
- DISPONIBILITÀ DI COMPONENTISTICA COTS;
- CREAZIONE DI OPZIONI (economiche) DI LANCIO PER SINGOLO (o pochi) CARICHI UTILI.

## **MICROSATELLITI PER AVIOLANCI**

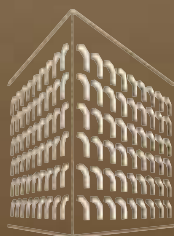


USAF F15- ASM135 ASAT  
Boeing - I° Stadio  
Vought - II° Stadio e Guida  
Lungh: 5,4 m Peso: 1179 kg  
Altiudine Max: 560 Km

### **La tecnologia degli aviolanci è evoluta e disponibile**



Aevum - Space Delivery Services  
Sistema di lancio RAVN : RPAS + Missile  
I° Stadio: RPAS – Velocità max: Mach 2.85  
II° Stadio - Propellente "Proprietario"  
III° Stadio - Ossigeno Liquido





## L'Avioloancio si appresta a diventare una Attività Industriale

**Più di 50 Organizzazioni (Agenzie Spaziali, Privati, Consorzi) stanno lavorando sullo sviluppo di piccoli lanciatori in grado di trasportare fino a 500 kg in orbite LEO, di questi il 14% riguardano l'avioloancio**

Lanciatore	Carico Utile	Orbite
Cab-3A	5 kg	400 km
Sagitarium Space Arrow	64 kg	600 km
LauncherOne	200 kg	SSO
SOAR	250 kg	LEO
Pegasus XL	468 kg	200 km
Orbital 500	500 kg	500 km SSO
RAVN	nd	nd

**Sistemi di Avioloancio**

Aeroporti per Avioloanci

- ✓ In UK sono pianificati due aeroporti in Cornovaglia e nel Galles
- ✓ In Italia un aeroporto è pianificato nella zona di Taranto-Grottaglie.



**Esempio di Campagna Commerciale**

## Mercato per gli Avioloanci

### **Maggiori Punti di forza Avioloancio**

- ❖ Alta frequenza di lancio: la maggiore tra i sistemi disponibili
- ❖ Tempo molto breve per il lancio : organizzazione, preparazione logistica, etc..
- ❖ Poche limitazioni sulla finestra di lancio : sono sufficienti aeroporti e corridoi di lancio sul mare con piccole finestre temporali di sicurezza.
- ❖ Supporto e Operazioni a terra per la campagna di lancio ridotte.



**Mercato Civile e Militare "Responsive"**

## Missioni “Responsive” per gli Aviolanci

### Missioni “Terrestri”

- *Ricognizione, Intelligence, supporto Tattico*
- *Telecomunicazioni Sicure*
- *Controllo Droni BLOS e Piattaforme HAPS*
- *P/L Multispettrali su bande selezionate*
- *Sostituzione Microsatelliti delle costellazioni per Osservazione della Terra*

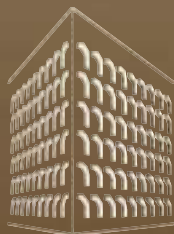
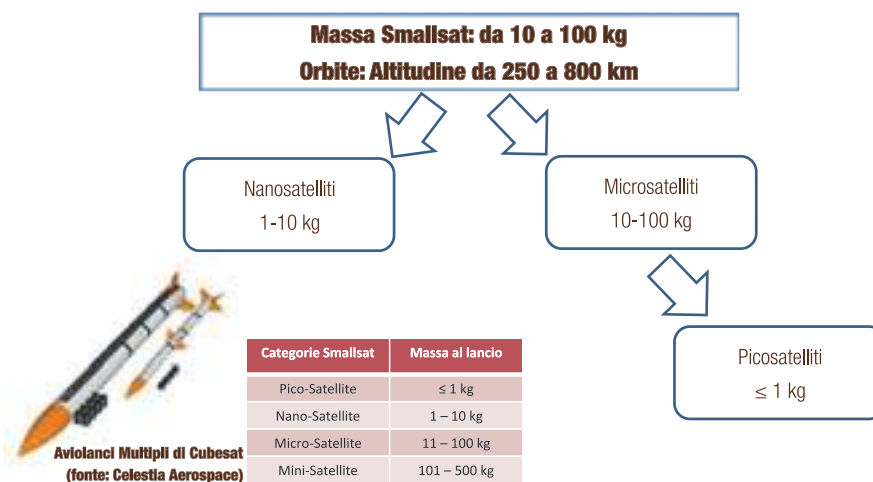
### Missioni per “Emergenze Civili”

- *Catastrofi naturali terrestri e marine (terremoti, tsunami)*
- *Eventi Meteo catastrofici*
- *Emergenze Idriche*
- *Emergenze Umanitarie*

### Missioni “Spazio Esterno”

- *Missioni x Debrids o Asteroidi*
- *Satelliti Lunari Modulari*
- *Supporto Missioni Interplanetarie*
- *Missioni di manutenzione e “emergenza” Satelliti*

## Quali Satelliti per le Missioni “Responsive”



## Tecnologie Abilitanti

I Cubesat potranno usufruire in gran numero dell'avio Lancio come opportunità di volo, ma non costituiranno il nocciolo della richiesta "Responsive" soddisfatta dal lancio con piattaforme aeree.

Sono necessari Microsatelliti in grado di supportare i requisiti delle missioni "Responsive" con specifiche superiori a quelle dei satelliti con massa superiore ai 500kg.

Per fare ciò sono necessari degli investimenti specifici e degli sviluppi in particolari tecnologie abilitanti da utilizzare nei Microsatelliti.

Queste tecnologie devono permettere di sviluppare Microsatelliti con specifiche estremamente avanzate in tutti i sottosistemi (Controllo di Assetto, Gestione Dati, Sensori, Propulsori, Antenne)

## Tecnologia Abilitante: Intelligenza Artificiale

### Intelligenza Artificiale a Bordo

- ✓ Funzioni Satellite: Prevedere e gestire Guasti; Contromisure
- ✓ Pianificatore di Missione: Modificare, Ripianificare la Missione e gestirla
- ✓ Gestione dati Payload: Analisi dati per conservarli e trasmettere a terra solo quelli necessari alla missione
- ✓ Gestione Radiofrequenza: SDR (Software Defined Radio), Conversione radiofrequenza/link ottico

### Intelligenza Artificiale a Terra

- ✓ 'AIV Tools' e Procedure - Sistemi di test funzionali rapidi; Simulatori 'HIL'
- ✓ Manutenzione 'Esperta' per 'Batch' di sottosistemi satellite pronti a terra
- ✓ Network Microstazioni Globale per ricezione telemetrie e dati
- ✓ Sistema esperto per analisi post missione



## Tecnologia Abilitante: Propulsione

### Propulsione a Ioni ed Elettrica per Microsat

- ✓ a Ioni
- ✓ Elettrica
- ✓ Elettrostatica
- ✓ Elettromagnetica



Mini 'ION Thrusters' con il loro serbatoio di propellente fase di test (fonte: MIT)

### Permetterebbero di:

- Utilizzare orbite a partire da 250 km compensando la resistenza aerodinamica
- Raggiungere orbite con altitudine fino a 800 km con manovre a bassa spinta
- Ottenere accuratezze di puntamento estremamente elevate
- Realizzare connessioni "Intersatellite Link" per comunicazioni ottiche.

## Missione con Tecnologia abilitante

### Tecnologia abilitante:

*Intelligenza Artificiale per pianificazione missione*

### Sistema Integrato Microsatellite/Missile

- Fase di Lancio: Sistema Guida Missile
- Fase Orbitale: Sistema Gestione Satellite
- Ottimizzazione strutturale e funzionale

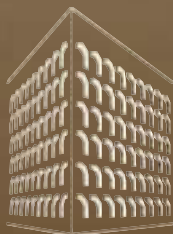


### Sistema di Propulsione Missile

- Propulsore e Propellente
- Sistema di Sgancio
- Sistema di localizzazione e eventuale recupero Propulsore

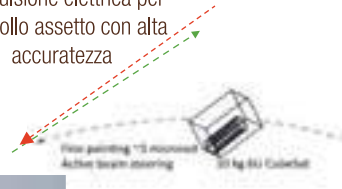
Altitudine di lancio: 15-20 km  
 Altezza orbita: 250-450 km  
 Massa Microsatellite: 50 kg

- ✓ Riprogrammazione Missione
- ✓ Alto "Throughput" di dati



**Tecnologia abilitante:**

Propulsione elettrica per controllo assetto con alta accuratezza



1.5m Optical Ground Station (MLRO)

Telespazio - Matera Laser Ranging Observatory

**Microsatelliti per:**

- ✓ Sviluppo di comunicazioni quantistiche sicure a lunga distanza
- ✓ Distribuzione chiavi quantistiche (QKD)
- ✓ Telecomunicazioni per Sicurezza e Difesa.

**Precursore: 2015, per la prima volta:**

Scambiato un messaggio cifrato inviolabile via satellite a una distanza 1700 km.

Verificati principi di base della meccanica quantistica: mantenimento dello stato di un fotone su un canale di telecomunicazioni.

## 2.4 TEMPI DI SVILUPPO E APPROCCIO DI RIDUZIONE DEL RISCHIO

Concetto di esecuzione anticipata sviluppi critici.

Alcune delle tecnologie abilitanti presentate possiedono livelli considerevoli di rischio tecnico e/o economico; per esse l'approccio di sviluppo suggerito è quello di focalizzare i primi (limitati) fondi disponibili per ottenere la verifica sperimentale della soluzione tecnica che supera la criticità maggiore rilevata. Solo dopo aver dimostrato tale superamento è possibile rilasciare i finanziamenti (ingenti) per la qualifica formale del progetto.

TECNOLOGIA	ATTIVITA' RIDUZIONE RISCHIO TECNICO
Lancio da piattaforma aerea tipo Cargo	Realizzazione prova di separazione velivolo- lanciatore in scala 1:1 (3-4M€; 2 anni)
Lancio da piattaforma aerea tipo Caccia	Realizzazione prova di separazione velivolo- lanciatore in scala 1:1 (>7M€; 3 anni)
Lancio da piattaforma marittima trainata dedicata (tipo Sea Launch)	Nessun rischio tecnico maggiore; elevato rischio economico

**TECNOLOGIA****ATTIVITA' RIDUZIONE RISCHIO TECNICO**

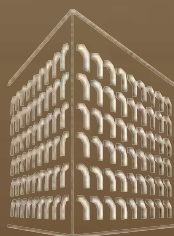
Lancio da nave tramite infrastruttura (rampa) mobile	Realizzazione di una prova del sistema di «separazione e allontanamento» del Lanciatore dalla nave (3-5 M€; 3-4 anni)
Gun Launch To Space	Realizzazione di una prova di verifica di funzionalità del progetto proposto al fine di generare la velocità di uscita dall'acceleratore (tbd M€; tbd anni)
Segmento di terra e reti di trasmissione	Nessuna criticità tecnica significativa
Microsat per lanci da piattaforma aerea	Nessuna criticità tecnica significativa

## 2.5 VALUTAZIONI PRELIMINARI SUI COSTI NON RICORRENTI E RICORRENTI

- Senza una analisi di medio dettaglio (di complessità elevata e durata superiore agli 8 mesi) non è possibile determinare i costi non ricorrenti e i tempi di sviluppo delle singole opzioni presentate in precedenza.
- E' possibile basarsi sui costi non ricorrenti derivanti da progetti direttamente eseguiti e/o dedotti dalla pubblica informazione, ed effettuare opportune «traslazioni» verso l'alto o verso il basso. Questo approccio può solo fornire l'ordine di grandezza dei costi non ricorrenti, e dei tempi di sviluppo prevedibili.

Questi sono riportati nel seguito.

<b>APPROCCIO</b>	<b>COSTI NON RICORRENTI M€</b>	<b>ANNI RIDUZIONE RISCHIO</b>	<b>ANNI COMPLETAMENTO QUALIFICA</b>
<b>Aviolancio da piattaforma aerea di tipo Cargo</b>	300	2-3	5
<b>Aviolancio da piattaforma aerea tipo Caccia</b>	500	3-4	5-6
<b>Lancio da piattaforma marina trainabile da nave/ autopropulsa</b>	700	3-4	4-5
<b>Lancio da nave tramite infrastruttura mobile imbarcata</b>	300-400	3-4	5
<b>Lancio da nave tramite Vertical Launch System (VLS)</b>	500	4	5





## Valutazioni circa la possibilità di coprire i costi non ricorrenti tramite mercato commerciale

Gli elevati costi non ricorrenti caratteristici di alcune opzioni presentate sono tali da renderle non attrattive da un punto di vista di puro ritorno commerciale diretto.

L'opportunità o meno di implementare il finanziamento di sviluppo di una particolare opzione si fonda sui benefici attesi di tipo strategico/ politico, e sui ritorni indiretti legati all'aumento della potenzialità industriale del Paese in ambito internazionale.

- I costi ricorrenti sono enormemente influenzati dal numero dei lanci all'anno previsti (\*) in quanto su tali lanci viene ripartito il costo di mantenimento delle infrastrutture necessarie (o almeno la quota parte caricata sul servizio di accesso allo spazio).
- In questa sede, non essendo ancora stato definito un quadro commerciale di utilizzo del servizio di accesso allo spazio, è solo possibile identificare la attrattività degli approcci presentati in funzione del costo annuale di mantenimento delle infrastrutture (qualitativo, basato su valutazione relativa).

(\*) output maggiore di una analisi di mercato non ancora eseguita

- |                                                                  |       |
|------------------------------------------------------------------|-------|
| • Aviolancio da piattaforma aerea di tipo Cargo                  | +++   |
| • Aviolancio da piattaforma aerea tipo Caccia                    | +++   |
| • Lancio da piattaforma marina trainabile da nave / autopropulsa | +++++ |
| • Lancio da nave tramite i/s mobile imbarcata                    | +     |
| • Lancio da nave tramite Vertical Launch System (VLS)            | ++    |

Nota:

+++++ indica valori superiori di costo di mantenimento infrastrutture (i/s)

### 3 CONSIDERAZIONI

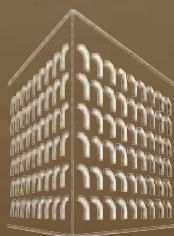
#### a) Tecniche

- E' possibile, per l'Italia, acquisire un accesso indipendente allo spazio.
- L'approccio tecnologico che appare caratterizzato da un buon rapporto tra benefici + rapidità di sviluppo, e costi + rischi, è quello basato sull'avio Lancio da velivolo tipo cargo.
- L'approccio avio Lancio da cargo consente di immettere in orbita LEO, a qualsiasi inclinazione orbitale, un carico utile di circa 100-150Kg; e consente l'esecuzione di missioni a rapida implementazione (4 giorni) in caso di contesti di emergenza.
- Solo l'approccio da piattaforma marina trainata/ autopropulsa dedicata permette di creare una alternativa nazionale per eseguire lanci di Vega addizionali rispetto a quelli a Kourou.
- Solo l'approccio di lancio da rampa mobile imbarcata su Nave consente di effettuare più di un lancio per singola missione navale.

#### NOTA:

I valori di costo riportati nella tabella seguente non sono il risultato di analisi quantitative, bensì una estrapolazione dei costi non ricorrenti del programma Vega, adattata alle caratteristiche macroscopiche delle opzioni considerate.

OPZIONE TECNICA →  OBBIETTIVO STRATEGICO	Lancio da Aereo		Lancio da Nave/ piattaforma marina		
	Avio Lancio da piattaforma aerea tipo cargo (A400M/ C130J)	Avio Lancio da piattaforma aerea tipo caccia (F35/ Tornado)	Lancio da piattaforma marina trainabile da Nave (tipo Sea Launch)	Lancio da Nave/ tramite autocarro di lancio	Lancio da Nave/ tramite Vertical Launch System (VLS)
Accesso indipendente allo Spazio	SI	SI	SI	SI	SI
Capacità di aumento del rateo di lancio Vega indipendente dalla disponibilità del poligono CSG	NO	NO	SI	NO	NO
Capacità di esecuzione di missioni satellitari ad implementazione immediata (Rapid Response Missions)	SI	SI	NO	NO	NO
Lanciabilità indipendente del nuovo piccolo lanciatore nazionale fabbricato totalmente in Italia	NO	NO	SI	SI	NO
Acquisizione di capacità tecnologiche utili per poter eseguire missioni duali di trasporto ipersonico a grandi distanze	SI	SI	NO	SI	SI
Stima ordine di grandezza costi non ricorrenti (M€)	300	500	700	300-400	500
Carico utile in LEO (Kg)	100-150	25-50	Senza limite	150-300	50-150



## **b) Strategiche:**

- Importante definire come eseguire efficacemente il controllo degli aspetti di interesse nazionale, anche ove in contrapposizione con posizioni dell'industria aerospaziale italiana: necessità di chiarezza su chi deve controllare/ come.
- Opportunità di finanziare immediatamente attività di riduzione del rischio per accesso indipendente allo spazio. Le attività sviluppate, in particolare nell'ambito di lancio da piattaforma aerea o navale, permetterebbero all'Italia di acquisire ruolo significativo nel futuro programma al livello europeo.
- Opportunità di intraprendere studi di base e sviluppi tecnologici per la realizzazione di sistemi futuri del tipo Gun Launch To Orbit (GLTO); preliminari alla acquisizione di ruoli significativi in ambito internazionale.
- Necessità di coordinamento al livello nazionale di:
  - Possibili utilizzi di sistemi in LEO per obiettivi dei vari ministeri ed enti pubblici Italiani;
  - Attività accademiche e di formazione in ambito aerospazio.
- Necessità di disporre, e mantenere/ far evolvere, in ambito pubblico, delle competenze acquisite nello sviluppo di sistemi di lancio (VEGA); vedi ad esempio proposta per la implementazione di un «Nucleo di Competenza Lanciatori».
- La VISIONE presentata per il ruolo nazionale («leadership LEO») consentirebbe di trattare in modo sinergico e coordinato gran parte delle 4 separate «finalità strategiche» che ASI ha definito nel documento di Visione Strategica 16-25 (\*), consentendo la focalizzazione verso gli aspetti operativi di servizio.

(\*): 1=Promuovere lo sviluppo di servizi e applicazioni per la Space Economy; 2=Promuovere lo sviluppo e l'utilizzo di infrastrutture per la Space Economy; 3=Accelerare e sostenere il progresso scientifico e culturale (Science Diplomacy); 4=Accrescere il prestigio internazionale del Paese (Space Diplomacy)











## ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI ROMA

Piazza della Repubblica, 59 - 00185 - Roma

Tel. 06.487.93.11 - Fax: 06.487.931.223

Cod.Fisc. 80201950583

Orari di apertura al pubblico degli uffici

Lunedì 09:30-12:30 14:30-17:30

Martedì 09:30-12:30 14:30-17:30

Mercoledì 09:30-12:30 14:30-17:30

Giovedì 09:30-12:30 14:30-17:30

Venerdì 09:30-12:30 chiuso

Sabato chiuso

La Segreteria dell'Ordine chiude alle 16.00

### AREE DEL SITO WEB DEL QUADERNO



AREA CIVILE AMBIENTALE

<http://ioroma.info/civile>



AREA INDUSTRIALE

<http://ioroma.info/industriale>



AREA DELL'INFORMAZIONE

<http://ioroma.info/informazione>



AREA INTERSETTORIALE

<http://ioroma.info/intersectoriale>





E' possibile consultare tutti i numeri  
all'indirizzo Internet  
***ioroma.info***





*Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma  
Piazza della Repubblica, 59 - 00185 Roma  
[www.ording.roma.it](http://www.ording.roma.it)*