



# Il volo ipersonico tra competizione tecnologica e cooperazione *Il ruolo dell'Italia*



## LE TECNOLOGIE ABILITANTI

Antonio Gammarota  
Thales Alenia Space

Capua, 20 aprile 2016

# Ricerca e Sviluppo Tecnologico per un Sistema Ipersonico

## WP3 *Sistemi e Tecnologie*

### WP3.1 Analisi di Missione e di Sistema

- Politecnico di Torino

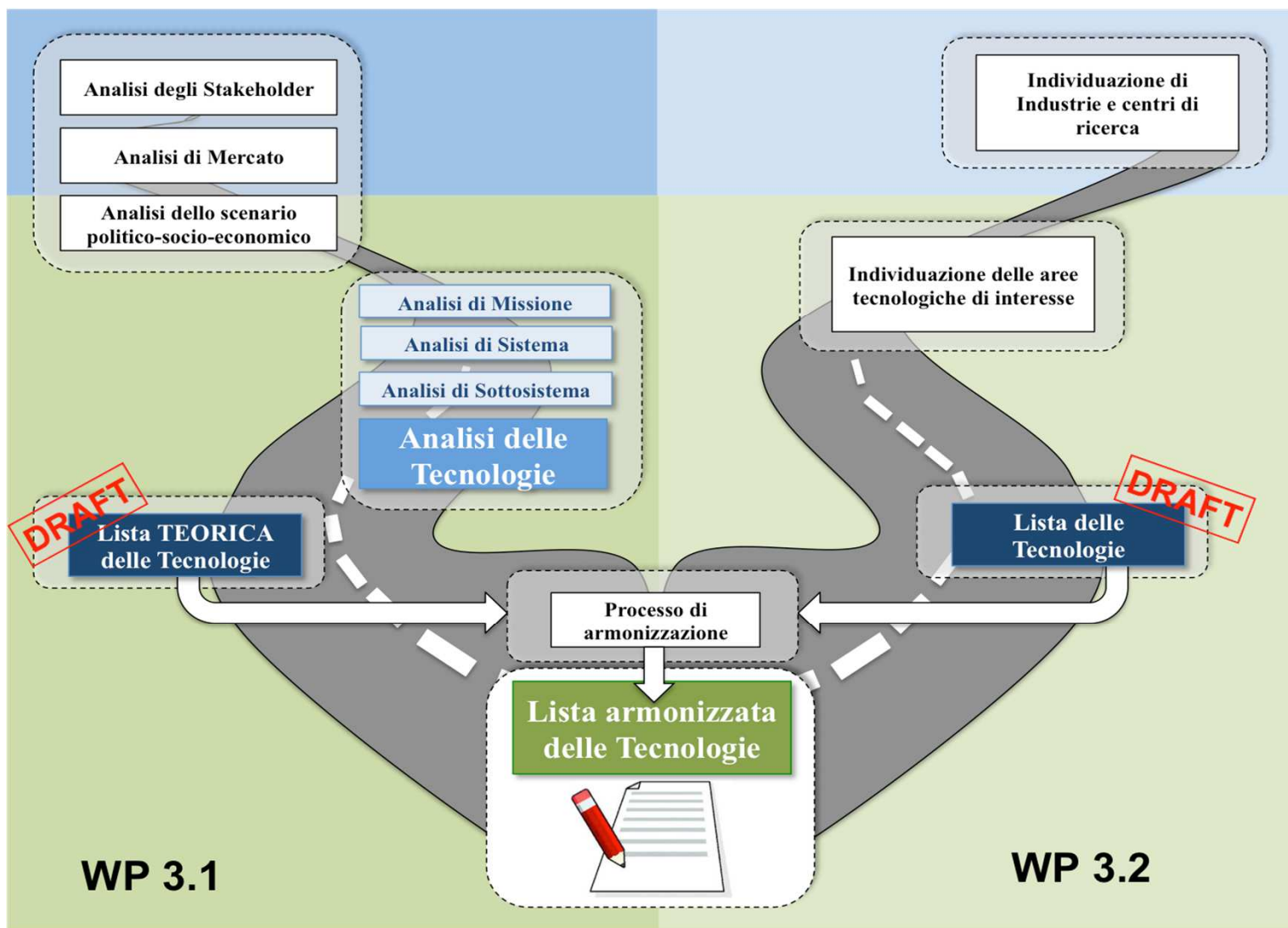
### WP3.2 Tecnologie Abilitanti

- Aeronautica Militare
- CIRA
- Finmeccanica - Divisione Velivoli
- Leaf Space
- Politecnico di Bari
- Politecnico di Milano
- Università di Napoli "Federico II"
- Università di Roma "La Sapienza"
- Thales Alenia Space

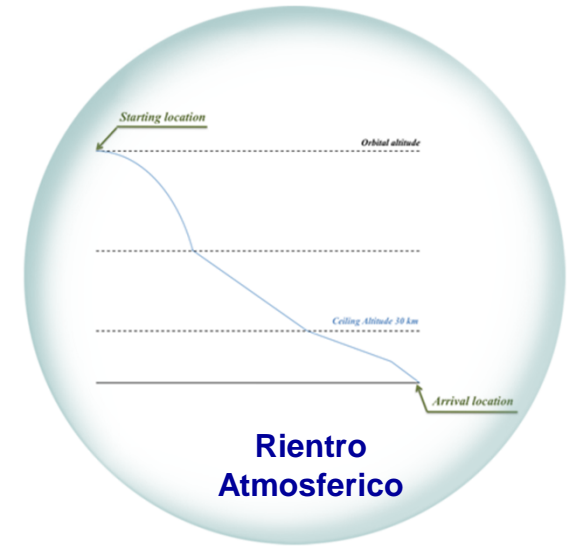
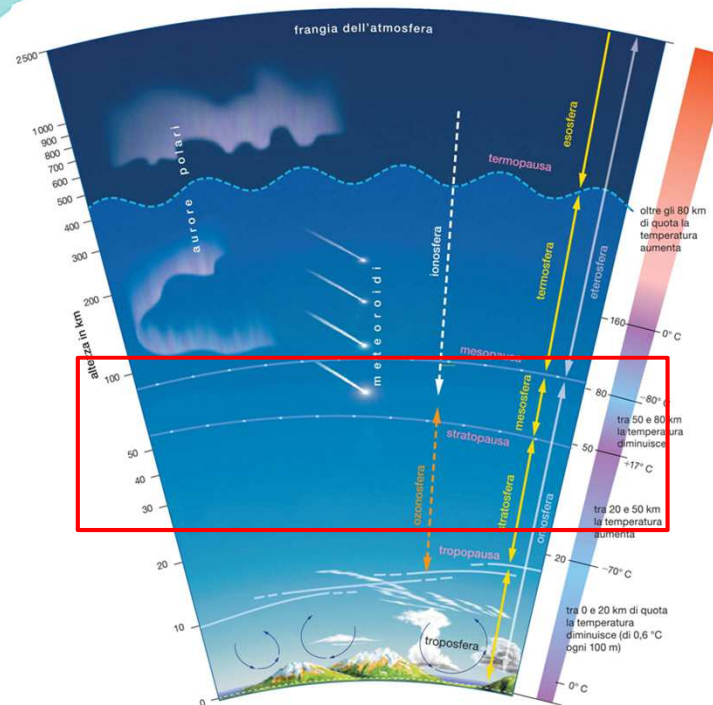
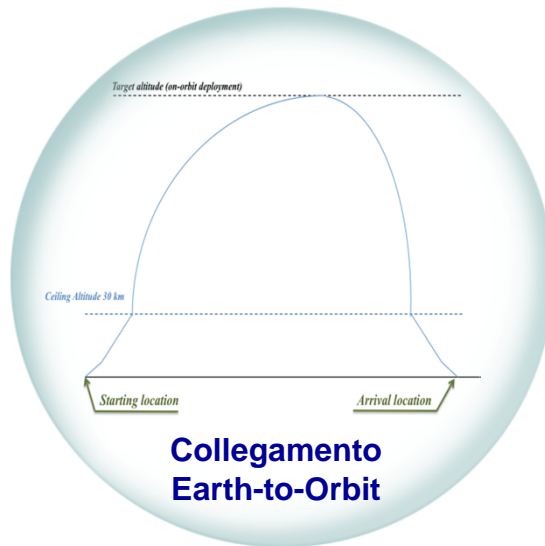
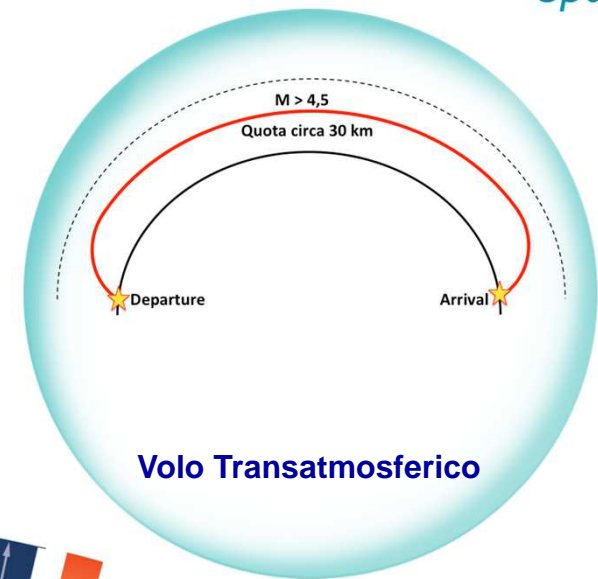
### WP3.3 Mappatura Tecnologie

- Politecnico di Bari

# Processo convergente di selezione delle tecnologie abilitanti



# Ambiente e Tipologie di missioni



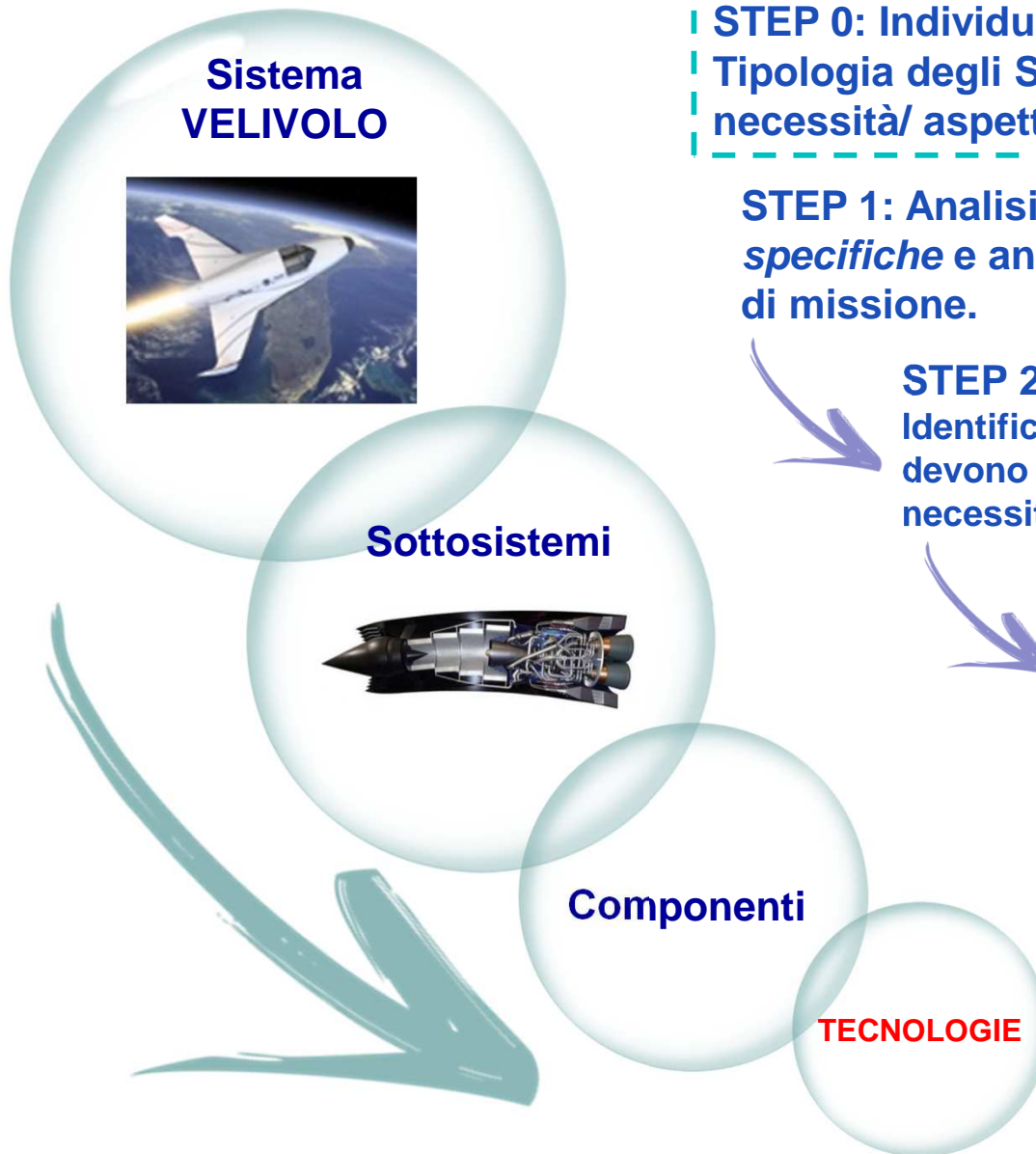
## Missione di riferimento (Volo Parabolico Sub-orbitale)



Nella *prima fase di salita* con la propulsione air-breathing si raggiunge la *sua massima quota operativa (tangenza)*. Nella seconda fase, per mezzo di un sistema propulsivo differente, il velivolo raggiunge la quota target (~100 km) e al culmine della traiettoria ritorna verso Terra, prima sfruttando l'effetto inerziale e successivamente con l'eventuale utilizzo del sistema propulsivo air-breathing.



## Identificazione delle Tecnologie Abilitanti Metodologia



**STEP 0: Individuazione degli Stakeholder**  
Tipologia degli Stakeholders e loro  
necessità/ aspettative.

**STEP 1: Analisi e definizione dei requisiti:**  
*specifiche* e analisi dei *requisiti* di progetto e  
di missione.

### STEP 2: Funzioni

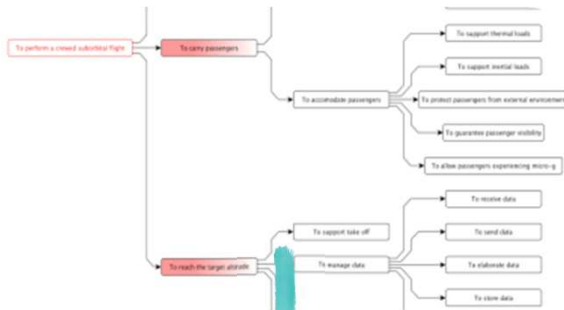
Identificazione delle principali *funzioni* che  
devono essere svolte per rispondere alle  
necessità degli Stakeholder.

### STEP 3: Elementi Fisici

Identificazione dei principali  
*elementi fisici (h/w)* capaci di  
svolgere le funzioni  
precedentemente identificate

Tale processo è stato applicato a  
tutti i livelli di progetto, dal  
Sistema Velivolo alle Tecnologie

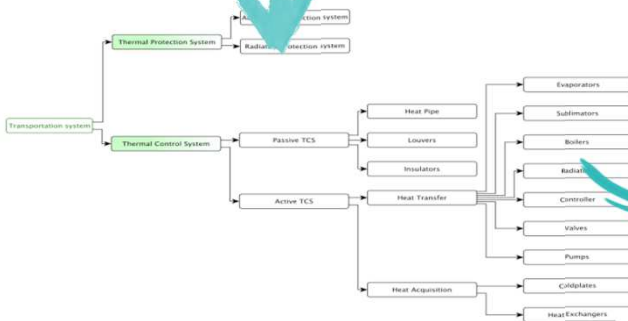
# Identificazione delle Tecnologie Abilitanti Strumenti a supporto



**Albero delle Funzioni**  
 Strumento del System Engineering che permette di derivare tutte le funzioni che il sistema o i suoi componenti devono garantire al fine di raggiungere gli obiettivi della Missione

	Data Management subsystem	ECLSS	Crew accommodation subsystem	Electrical subsystem	Power subsystem	Communication subsystem	Propulsion subsystem	ACS	Thermal Control Subsystem	Thermal Protection subsystem	Structure and Mechanisms
To generate thrust in atmosphere											
To generate thrust out of atmosphere											
To manage thrust in atmosphere											
To manage thrust out of atmosphere											
To support thermal loads											

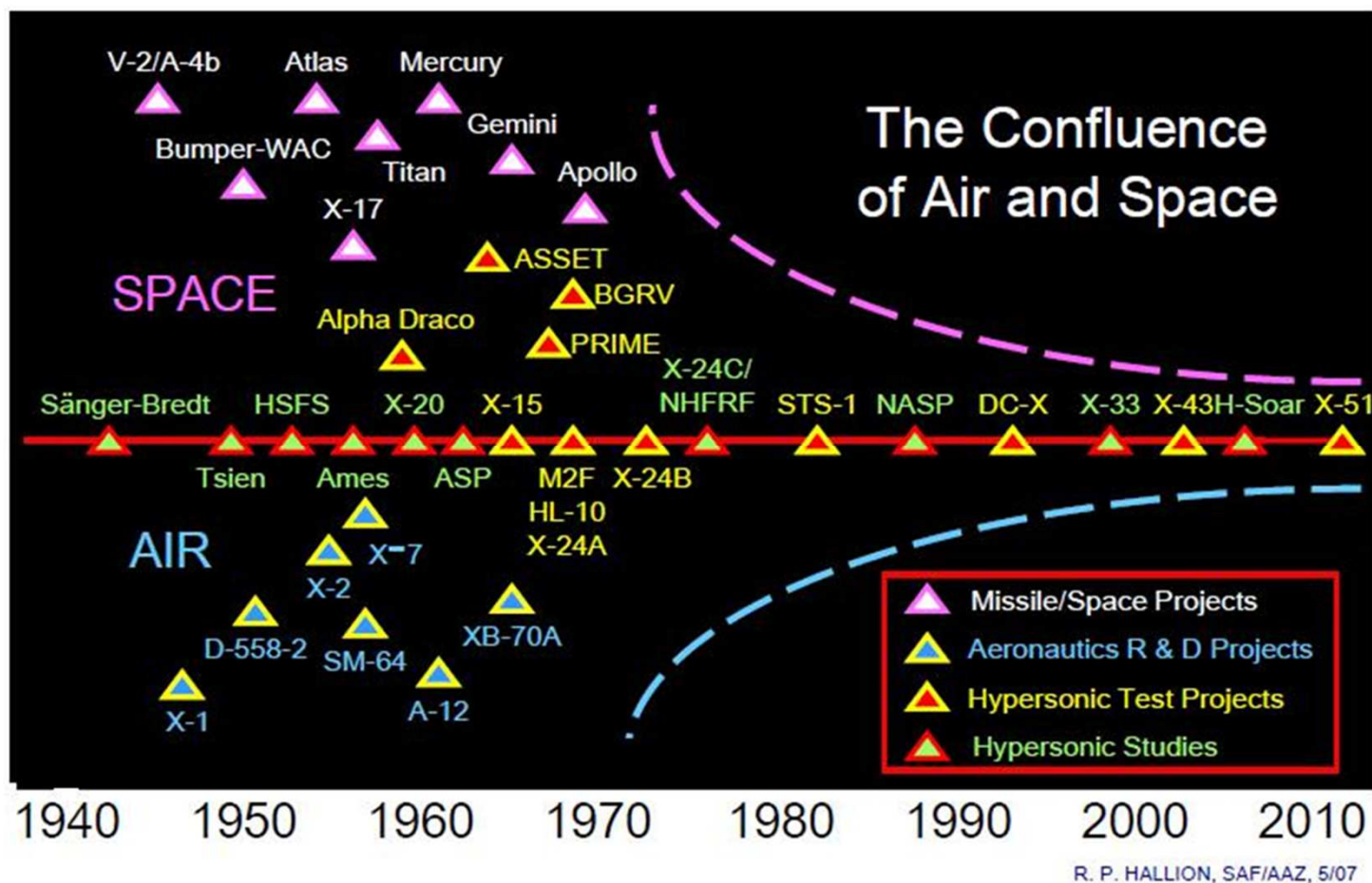
**Matrice di Connessione Funzione/Apparato**  
 Permette di definire i principali elementi fisici e di collegarli alle funzioni identificate.



**Albero dei Prodotti**



**Lista delle Tecnologie**

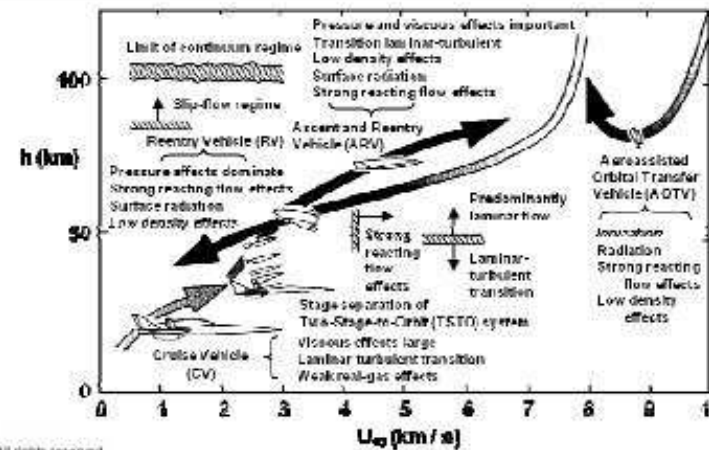
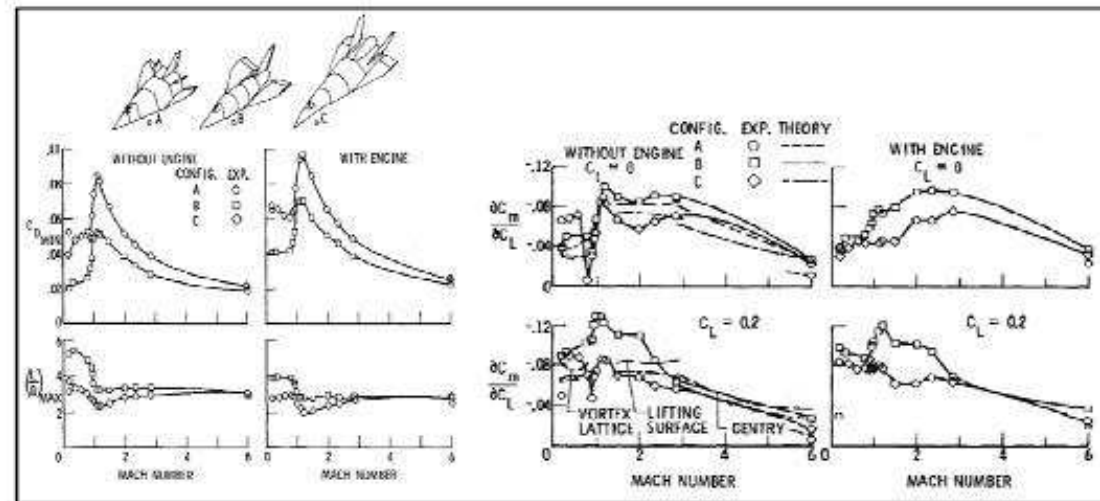
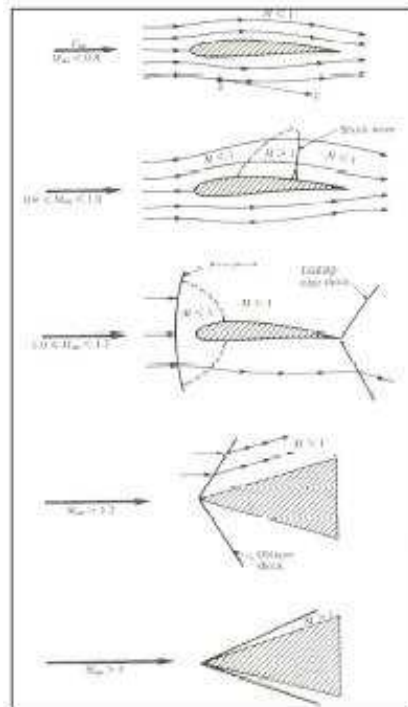




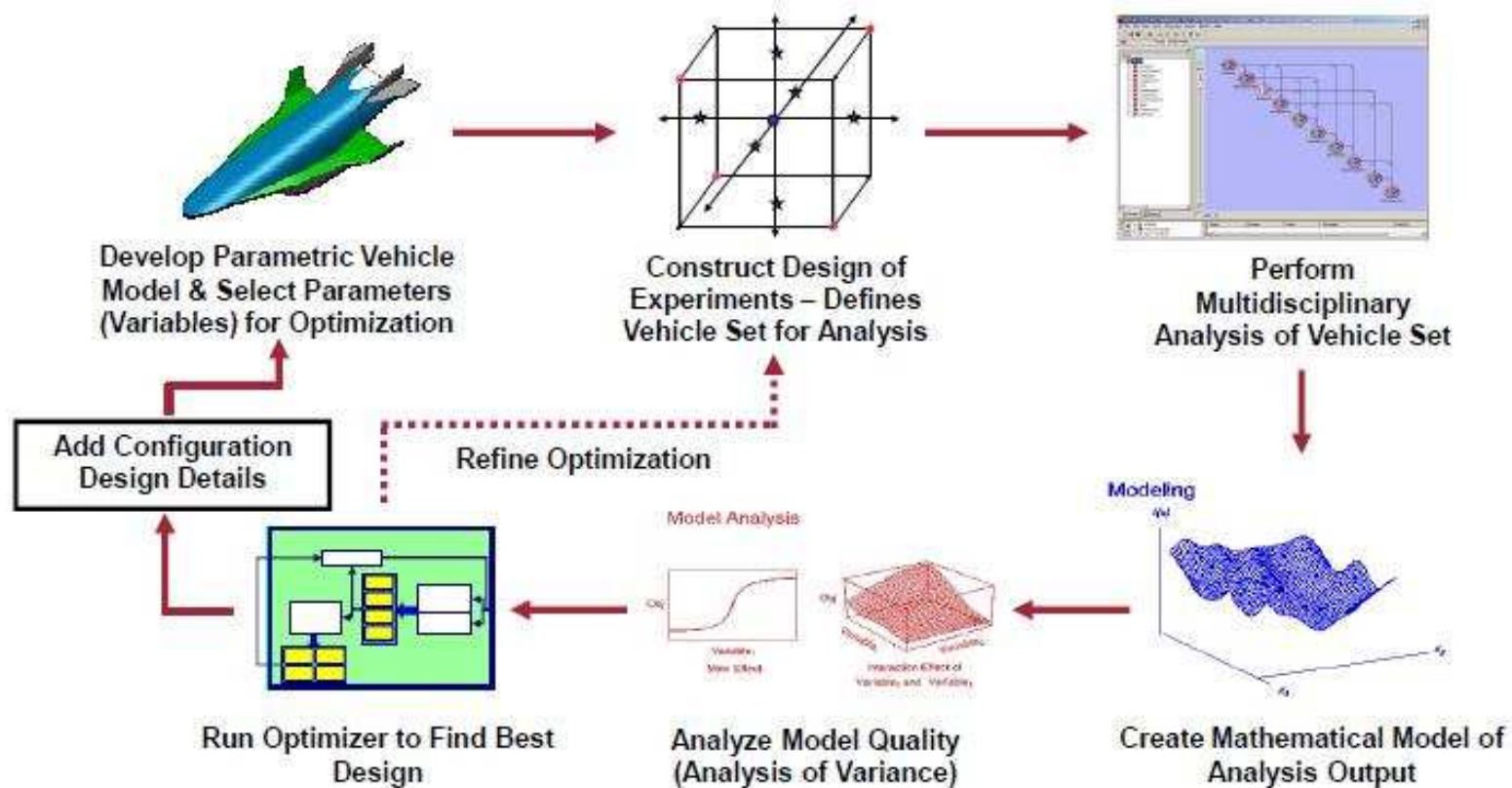
**Programma di R&D:** investigazione dei fenomeni ipersonici fondamentali e caratterizzazione delle tecnologie abilitanti attraverso analisi e test (a terra e in volo).

- problema della **complessità tecnologica**
- approccio **multidisciplinare**
- visione delle **tecnologie integrate** nel sistema
  
- Metodologia Modulare:** (building block) per sviluppo e validazione degli approcci e delle tecnologie
  
- Ingegneria di Sistema:** specifiche, requisiti, configurazione , risk management, test e valutazione dei tools (s/w).
  
- Sperimentazione:** rappresentatività e alta accuratezza dei database: dati fenomenologici e di performance (ground & flight)

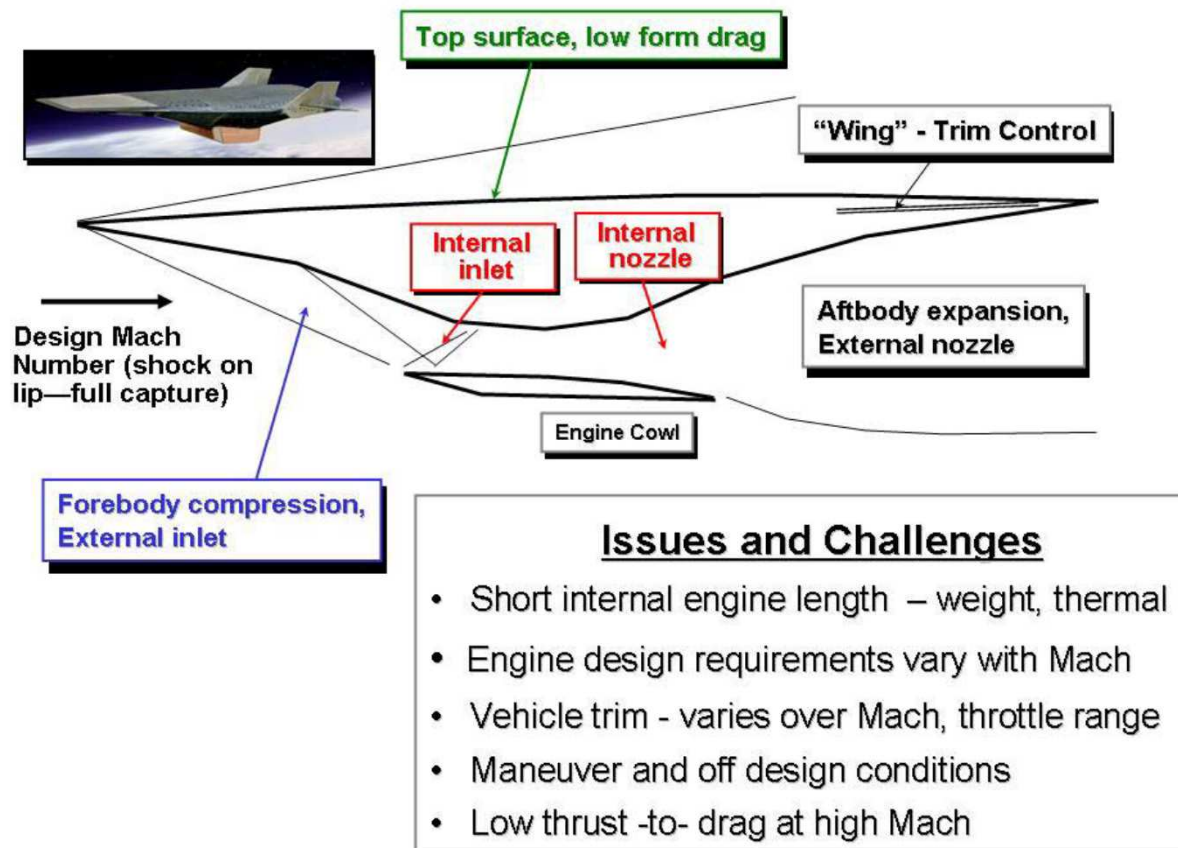
**La complessità dei fenomeni fisici è incrementale al crescere del numero di Mach**



**La fattibilità e qualità del progetto «velivolo ipersonico» richiede un approccio di *Design Multidisciplinare* (Analisi & Ottimizzazione)**



**Il progetto di un «velivolo ipersonico» ha una natura fortemente Integrata: tutti i sottosistemi e le funzioni interagiscono tra loro.**



### L'integrazione delle tecnologie determina un nuovo «stato di maturità» tecnologica del Sistema fortemente variabile

**TRL** => valutazione del rischio *intrinseco* allo sviluppo di una singola tecnologia

**IRL** => valutazione del rischio connesso all'*integrazione* di diverse tecnologie

$$\mathbf{SRL} = f(\mathbf{TRL}, \mathbf{IRL})$$

I 3 indici sono legati mediante una relazione dinamica.

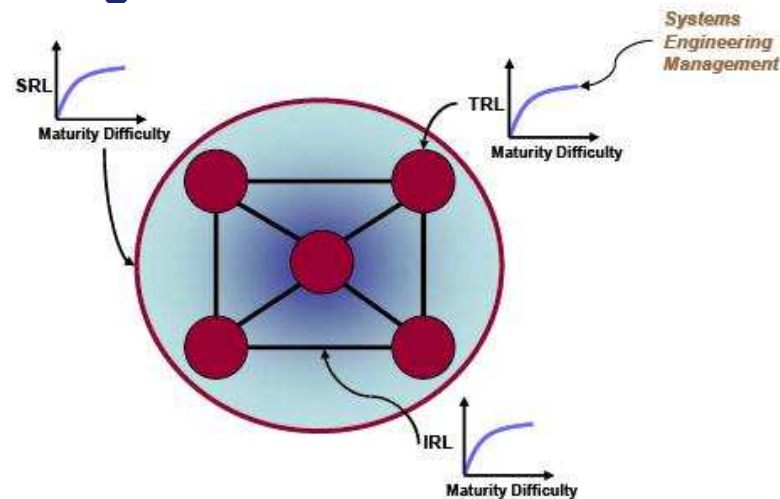
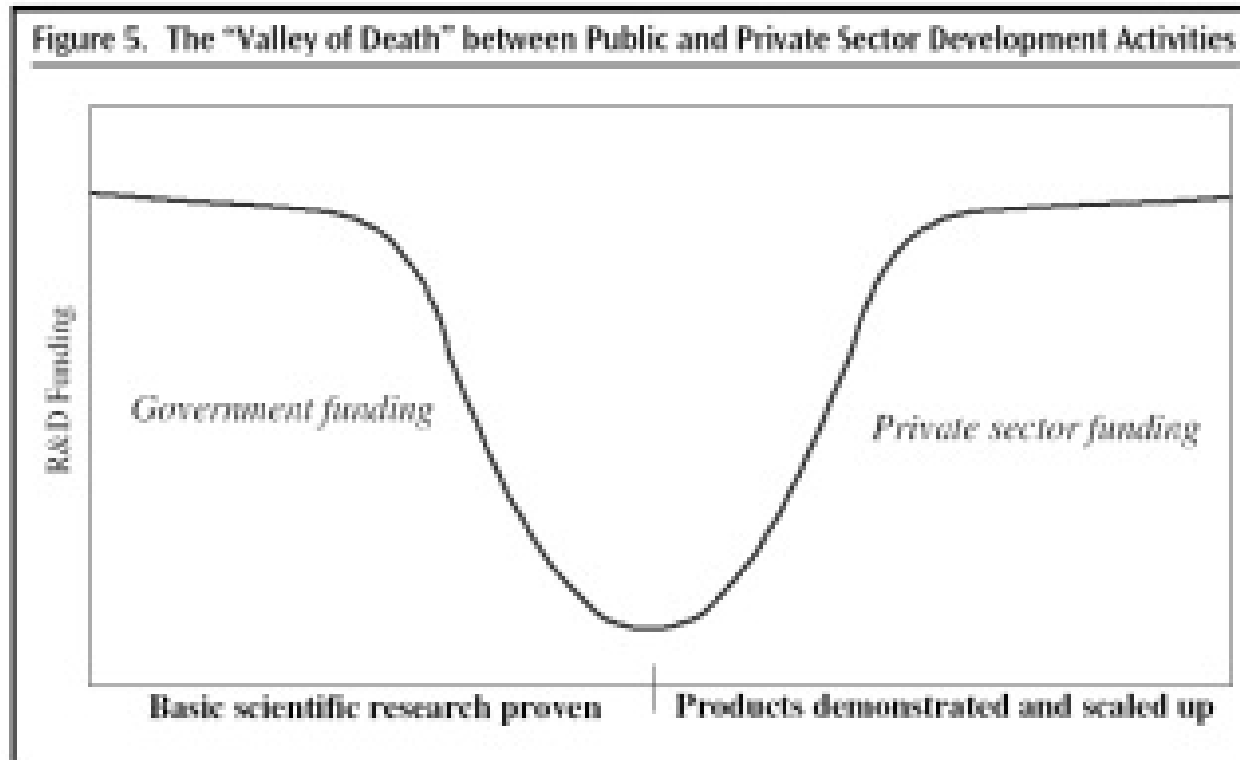


Figure 3: The Future SRL Model

**I rischi associati allo sviluppo tecnologico in campo ipersonico, anche su piccola scala, richiedono forti sinergie e una chiara definizione degli obiettivi**




## Estensione Semantica del TRL

**Box 2-1 Technology Readiness Levels**

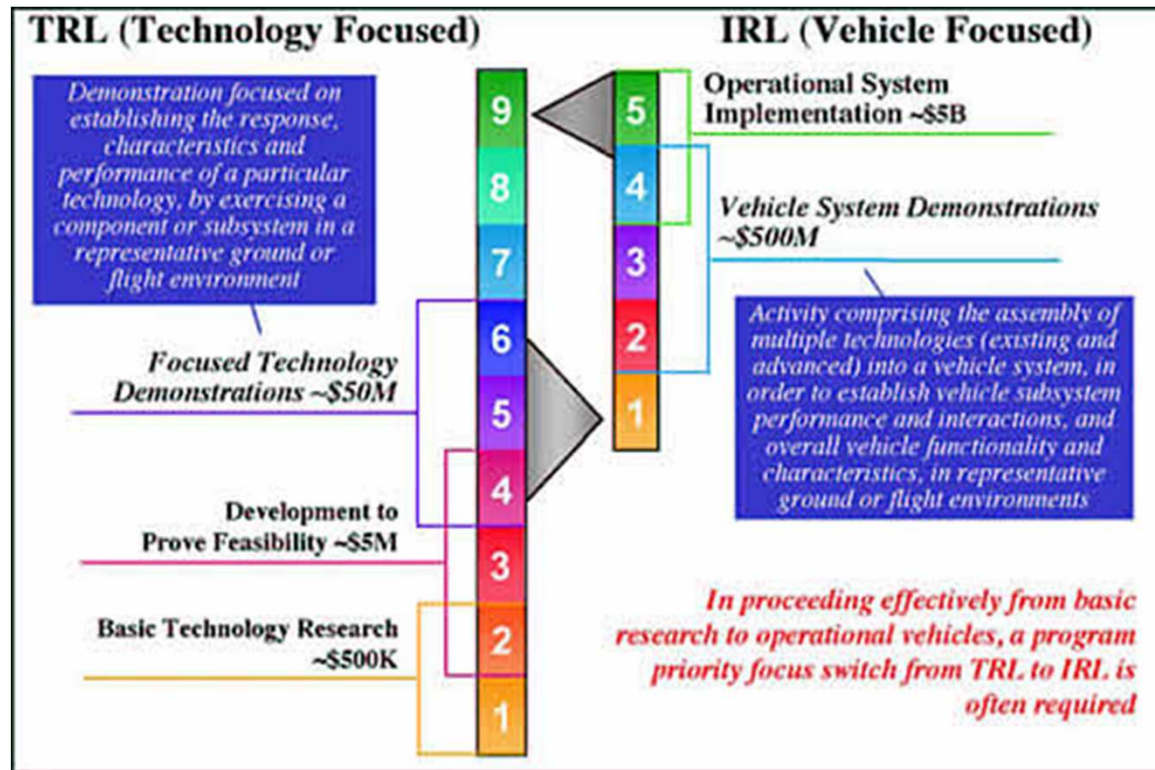
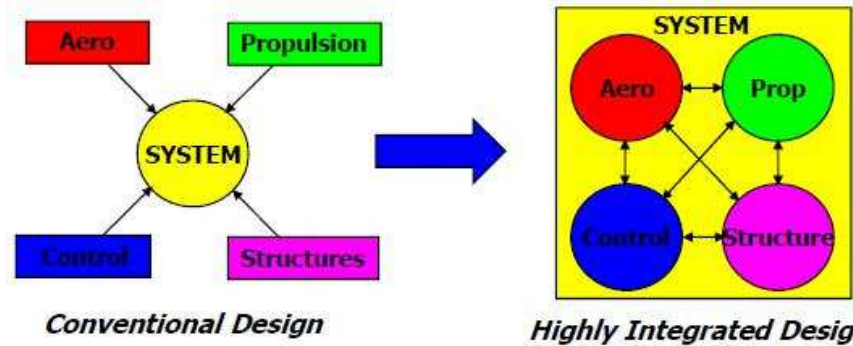
Technology readiness levels (TRLs) refer to a system of metrics that is used to assess the maturity of a technology, compare the maturity of different technologies, and communicate technology maturity to others. The NASA TRL scale, which was developed for flight hardware items, can be seen at <http://spacescience.nasa.gov/admin/pubs/handbook/OSSHHandbook.pdf> (accessed January 2, 2004).  
The committee used an extension of the standard NASA TRL scale to develop consistent TRL ratings for all the technologies reviewed, nonhardware items as well as hardware items.

	TRL	Product	Process	Analysis/Simulation
<b>Implementation</b>	9	Actual System "Flight Proven" Through Successful Mission Ops.	Actual Process Proven Through Successful Operation by Program	Actual Models in Use by the Community
<b>Validation/ Verification</b>	8	Actual System "Flight Qualified" Through Test & Demo	Actual Process Completed and "Qualified" Through Test/Demo	Actual Models Validated Against "Flight Qualified" Data
	7	System Prototype Demonstration in an Operating Environment	Prototype Process Demo in a Program Environment	Prototype Model Validated Against Flight-Test Data
<b>Demonstration</b>	6	System/ Subsystem Prototype Demo in a Relevant Environment	Process Prototype Demo in a Relevant Environment	Model Validated Against Relevant Ground-Test Data
	5	Component Validation in Relevant Environment	Beta Version Key Elements Validated In Relevant Env.	Model Components Evaluated Against Relevant Data
<b>Development</b>	4	Component Validation in Laboratory Environment	Alpha Version Key Elements Validated Against Benchmark	Tools Assembled into Package and Tested Against Hand Calcs.
<b>Proving Feasibility</b>	3	Critical Function of Characteristic Proof-of-Concept	Alpha Version Operational in a Test Environment	Data Flow Diagrams, Tools Collection and Familiarization
<b>Basic Research</b>	2	Technology Concept and/or Application Formulated	Requirements Document Approved by Customer	Methods and Algorithms for Similar Systems Identified
	1	Basic Principles Observed and Reported	Current Process Documents and Potential Savings Identified	System Characterized and Tool Needs Defined



SOURCE: Bowcutt, 2003.

# Ricerca e Sviluppo Tecnologico per un Sistema Ipersonico

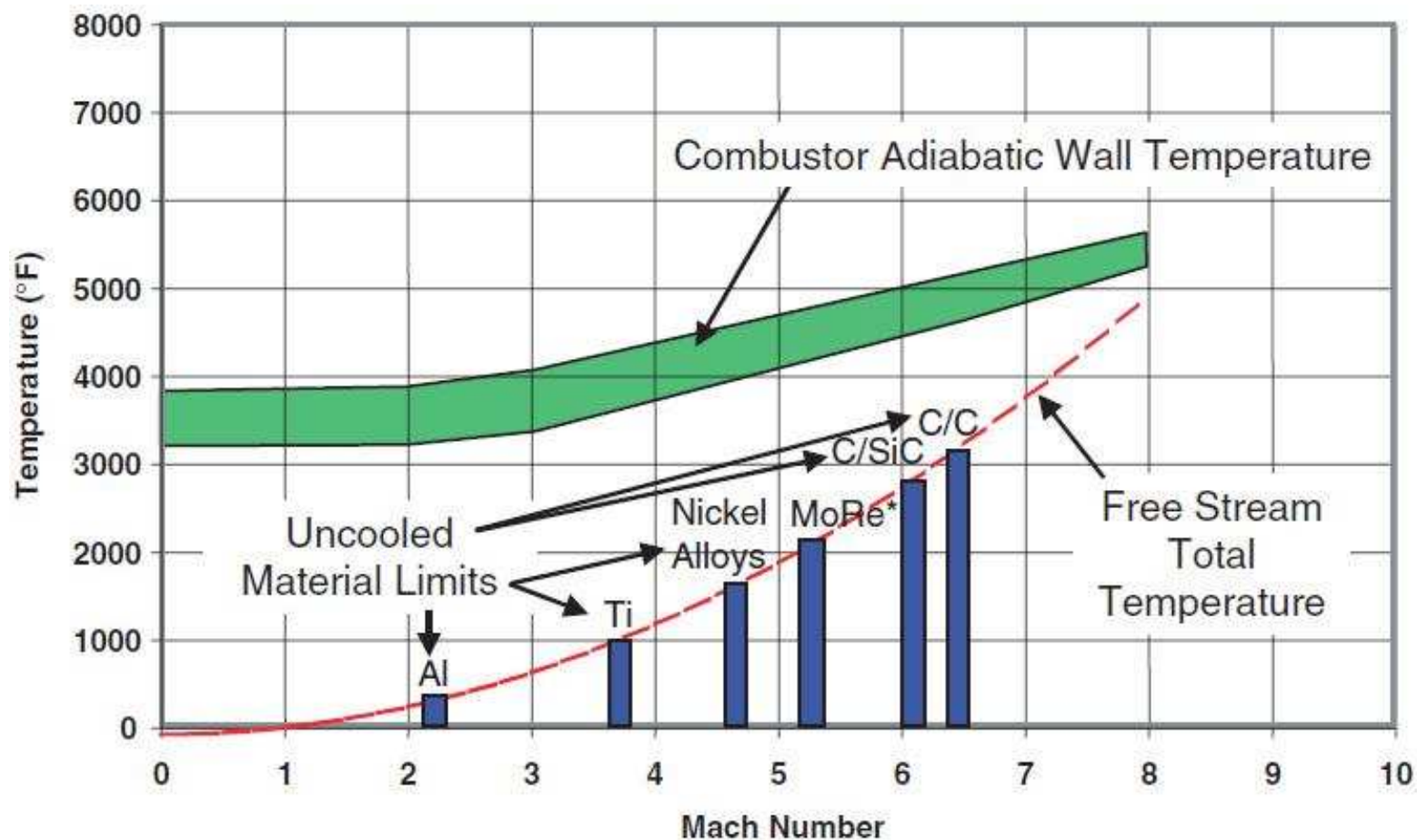




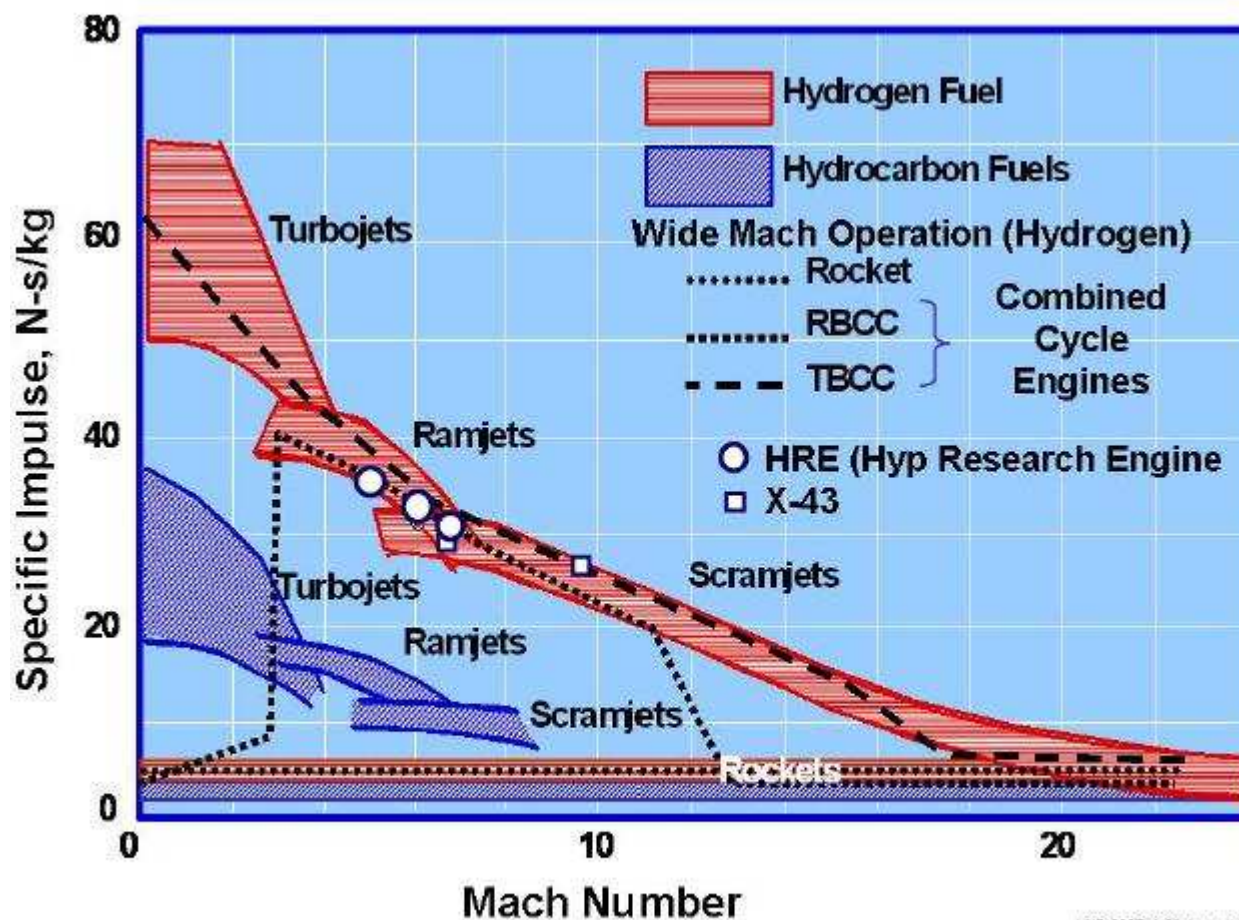
## Domini Tecnologici Abilitanti



Dominio Tecnologico	Tecnologia costituente	Tecnologia subcostituente	TRL	Importanza
<b>Strutture &amp; Materiali</b>	Strutture calde	-	TBD	A
	Materiali per alte temperature	Temperature < 900°C	8-9	A
		Temperature tra 900 – 1600°C	7-8	M
		Temperature > 1600 °C e TPS	6-8	B
	Serbatoi in materiale composito	-	8-9	M
	Strutture intelligenti e multifunzionali	Monitoraggio dello stato di salute	4-6	A



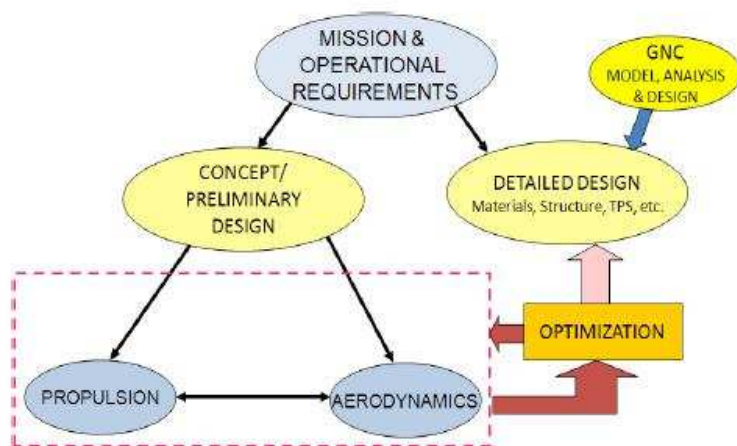
Dominio Tecnologico	Tecnologia costituente	Tecnologia subcostituente	TRL	Importanza
<b>Sistemi Propulsivi</b>	Ramjet	Combustibili liquidi	7	A
		Combustibili solidi	7	M
	Scramjet	Idrogeno liquido	5-6	B
	Motori a razzo	Propellenti liquidi	9	B
		Propellenti solidi	9	B
		Propellenti ibridi	8-9	A
	Propellenti green per RCS	-	7-9	B
	Motori a ciclo combinato	Rocket Based Combined Cycle	4-6	A
		Turbine Based Combined Cycle	4-9	A
		Eiettori ramjet	5-7	A



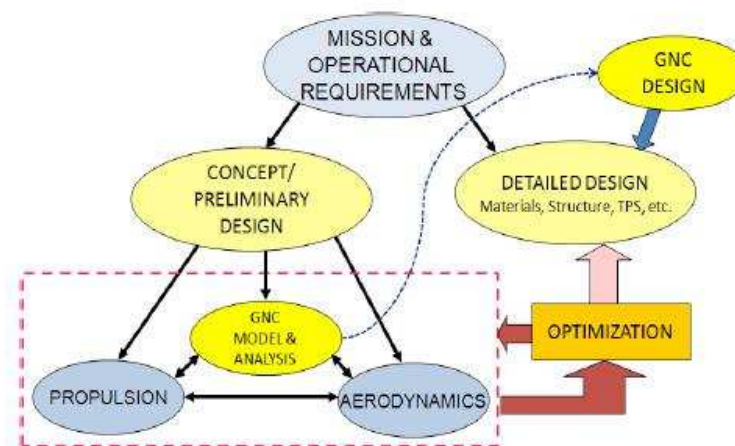
VKF\_2007/McClinton.ppt.#2

Figure 1. Hypersonic Engine Efficiency

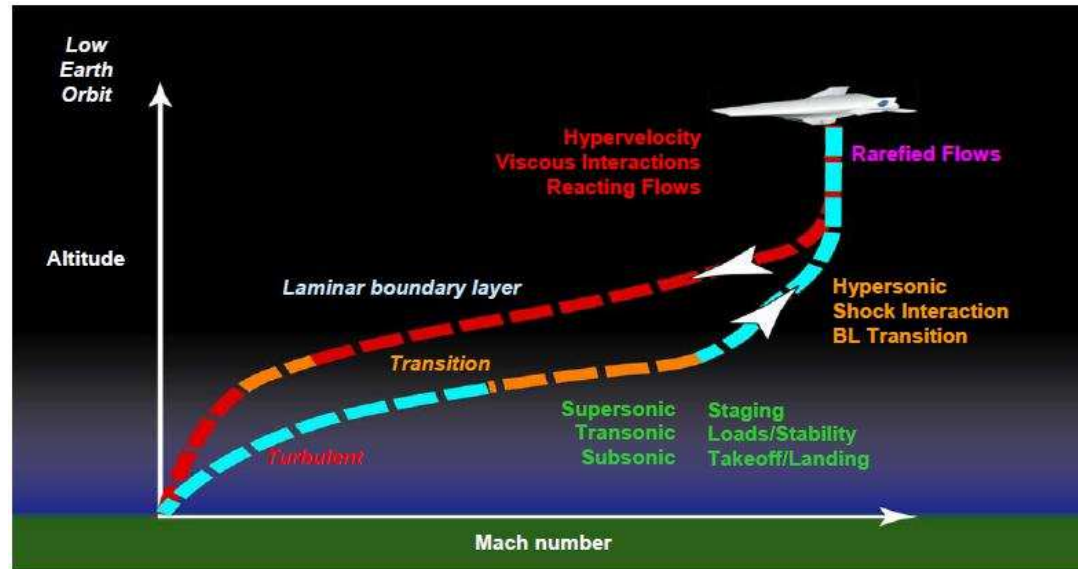
Dominio Tecnologico	Tecnologia costituente	Tecnologia subcostituente	TRL	Importanza
<b>Guida Navigazione e Controllo</b>	Dispositivi elettronici flessibili	-	4-5	M
	Navigazione GPS indipendente ed autonoma	-	5-8	A



**Figure 1: Traditional GNC Design Approach**



**Figure 2: Early Application of GNC in Design**



Dominio Tecnologico	Tecnologia costituente	Tecnologia subcostituente	TRL	Importanza
Aerotermodinamica	Analisi di mitigazione del boom sonico	-		A
	Controllo dello strato limite	-		A
	Separazioni ipersoniche	-		A

Dominio Tecnologico	Tecnologia costituente	Tecnologia subcostituente	TRL	Importanza
Aerotermodinamica	Fisica del flusso	Interazione tra urti		A
		Processi di transizione		A
		Dinamica del miscelamento		M
		Flussi turbolenti		M
	CFD per flussi ipersonici	-		M
	Modelli semplificati per il design preliminare	-		B
	Fisica della combustione	Combustione ad alta velocità		A
		Iniezione di carburante ed accensione		A
		Modello di cinetica chimica		A



Dominio Tecnologico	Tecnologia costituente	Tecnologia subcostituente	TRL	Importanza
<b>Aerotermodinamica</b>	Fisica della combustione	Interazioni gas-superficie		M
		CFD per camere di combustione		M
	Configurazioni ad alta efficienza	-		A
	Misure e tecniche sperimentali	-		M

Dominio Tecnologico	Tecnologia costituente	Tecnologia subcostituente	TRL	Importanza
Armi e Sistemi di Difesa	Tecnologie laser ed a energia diretta	-	2-3	-
	Materiali reattivi	-	4-5	-

Dominio Tecnologico	Tecnologia costituente	Tecnologia subcostituente	TRL	Importanza
Metodologie di progettazione	Tools di avamprogetto	-	-	M
	Progettazione sistemistica del velivolo	Progettazione di strutture e materiali	-	B
		Progettazione di sistemi propulsivi	-	A
		Integrazione aerotermo-strutturale	-	A

Dominio Tecnologico	Tecnologia costituente	Tecnologia sub-costituente	TRL	Importanza
<b>Atterraggio e Supporto a Terra</b>	Integrazione con ATC	-	-	A
	Operatività di spaziorporti	-	-	A
Dominio Tecnologico	Tecnologia costituente	Tecnologia subcostituente	TRL	Importanza
<b>Progettazione, integrazione, verifica e qualifica</b>	Elettronica tollerante a radiazione e ionizzazione	-	-	B
	Architettura modulare aperta per avionica e software	-	-	M
	Banco test per integrazione di sistema	-	-	A
	Test in galleria del vento super/ipersonica	-	-	A

# Technology Mapping

## Metodologia raccolta dati

La mappatura identifica pubblicazioni e brevetti nel dominio del volo ipersonico con l'obiettivo di analizzare i relativi trend di sviluppo e il posizionamento dell'Italia in termini di produttività scientifica e brevettuale rispetto alle altre economie mondiali.

### Metodologia

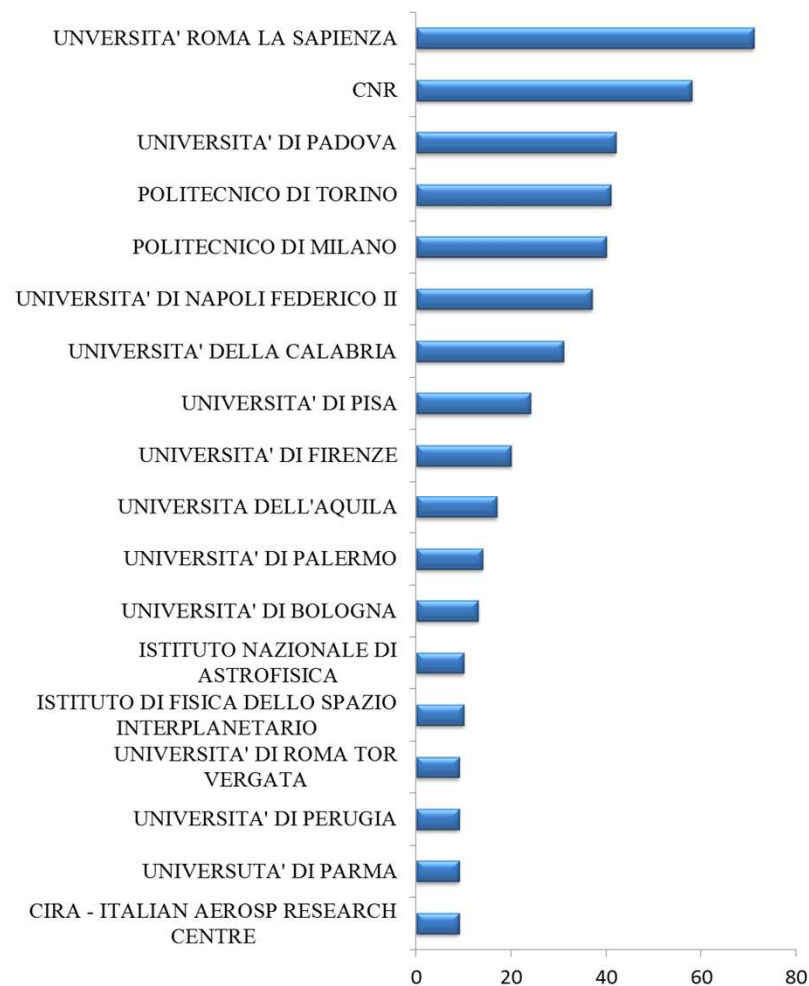
1. Definizione dei database per la mappatura
  - Pubblicazioni: Web of Science (WoS), per il periodo 1990-2015
  - Brevetti: United States Patent and Trademark Office (USPTO), per il periodo 1976-2015
2. Definizione dei termini di ricerca
  - le parole chiave di ciascun dominio tecnologico, al primo livello di analisi, sono combinate con i termini «hypersonic», «aerospace» e «spacecraft»
  - Es. («Structure\*») AND («hypersonic» OR «aerospace» OR «spacecraft»)
  - Nel caso di WoS, la ricerca ha interessato il campo *Topic* (titolo, abstract e keywords); nel caso di USPTO si è considerato il campo *Claim(s)*
3. Raccolta delle informazioni bibliografiche su pubblicazioni e brevetti per ciascun dominio tecnologico (anno di riferimento, organizzazioni coinvolte, area tecnologica, etc.)
4. Analisi dei dati e relativa mappatura

### Nel mondo (Top 10)



**Miglior risultato scientifico in Italia**

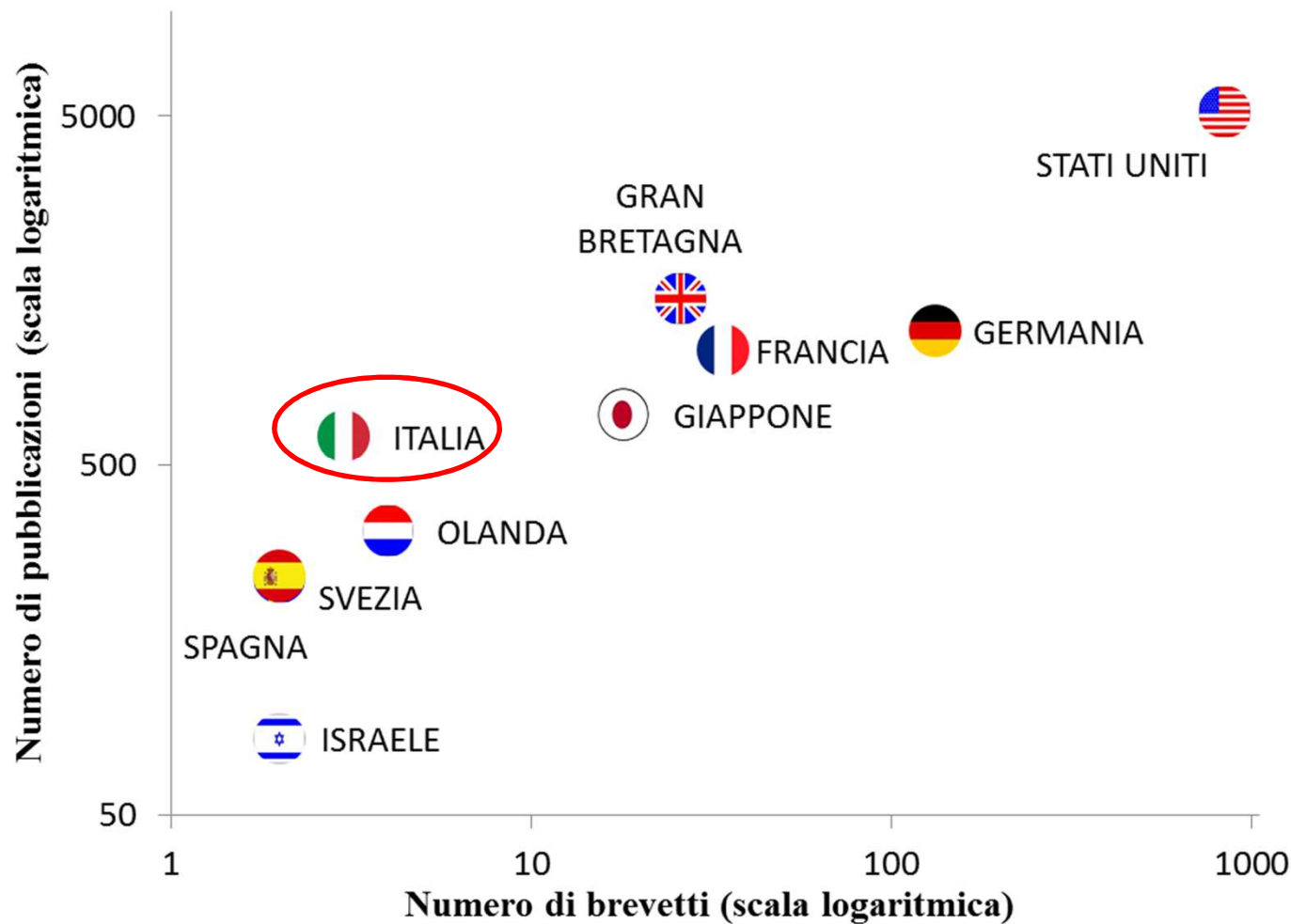
### In Italia



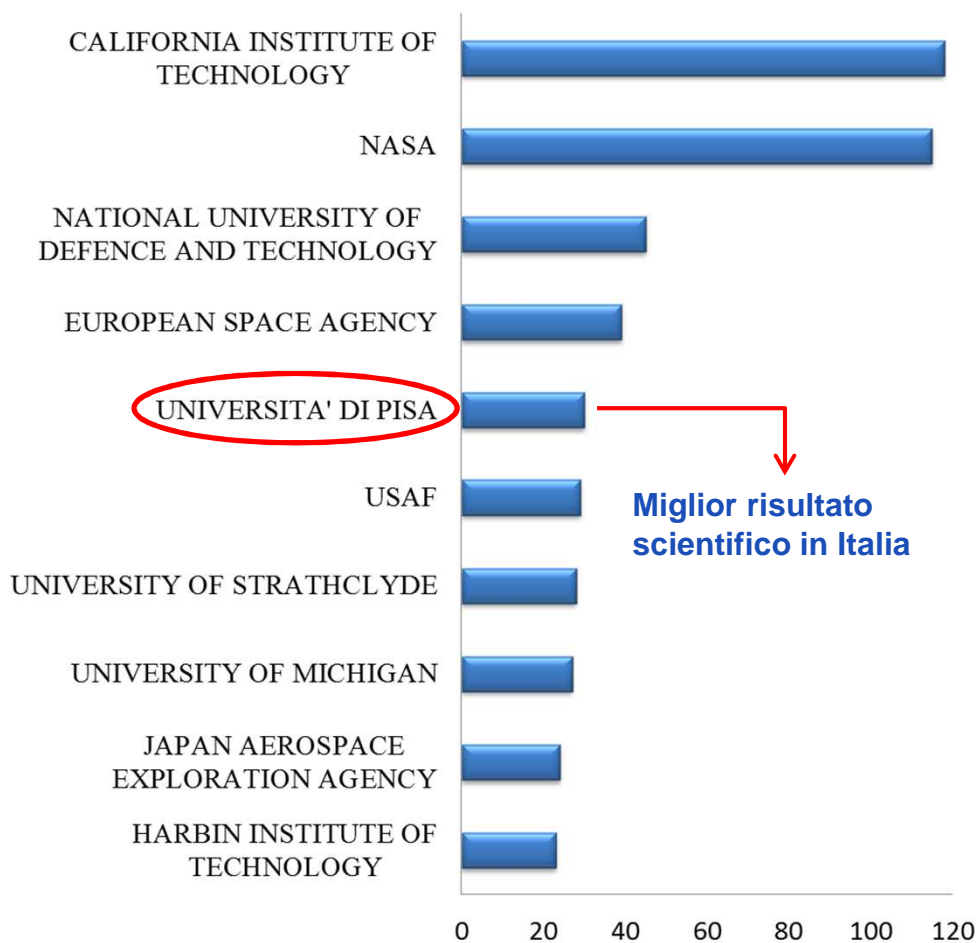
## PRODUZIONE BREVETTUALE NEL MONDO (1976 – 2015) «Strutture e Materiali»

Organizzazione	Nazionalità	Brevetti
The Boeing Company	STATI UNITI	287
The United States of America	STATI UNITI	71
Airbus Operations GmbH	GERMANIA	51
Lockheed Martin Corporation	STATI UNITI	41
TRW Inc.	STATI UNITI	36
Hughes Electronics Corporation	STATI UNITI	23
Space Systems/Loral, Inc.	GERMANIA	22
Intel Corporation	STATI UNITI	18
Hughes Aircraft Company	STATI UNITI	16
Astrium GmbH	GERMANY	16
RCA Corporation	STATI UNITI	13
Integran Technologies Inc.	STATI UNITI	13
Airbus Deutschland GmbH	GERMANIA	12
Thales	FRANCIA	11
...	...	...
Thales Alenia Space Spa	ITALIA	2
Aeritalia-Società Aerospaziale Italiana	ITALIA	1

# CONFRONTO PUBBLICAZIONI-BREVETTI «Strutture e Materiali»



### Nel mondo (Top 10)



### In Italia

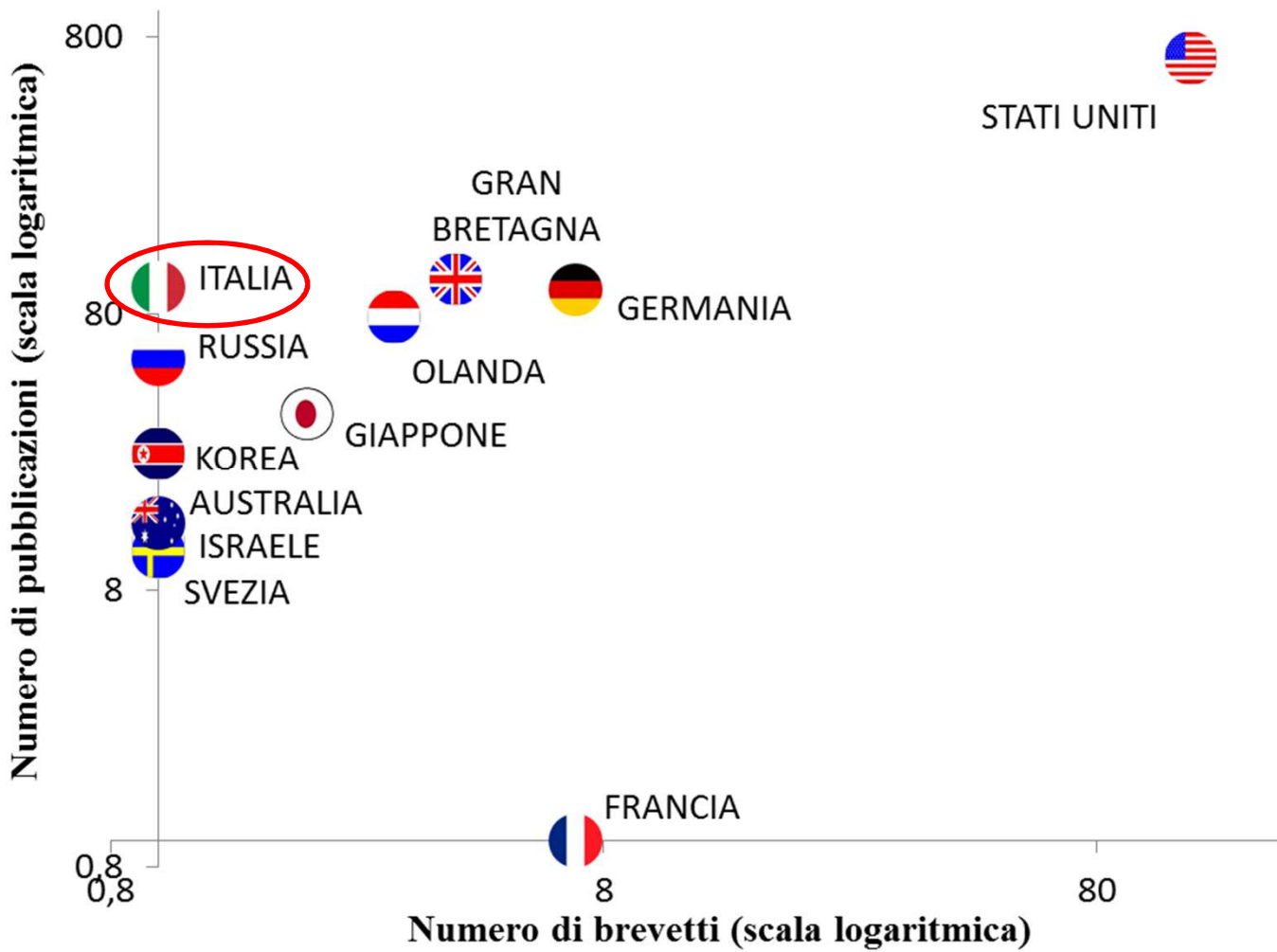




## PRODUZIONE BREVETTUALE NEL MONDO (1976 – 2015) «Sistemi propulsivi»

Organizzazione	Nazionalità	Brevetti
The Boeing Company	STATI UNITI	28
The United States of America	STATI UNITI	14
TRW Inc.	STATI UNITI	11
Space Systems/Loral, LLC	STATI UNITI	9
Lockheed Martin Corporation	STATI UNITI	6
The Aerospace Corporation	STATI UNITI	6
Hughes Electronics	STATI UNITI	5
Agence Spatiale Europeene	FRANCIA	4
Hughes Aircraft Company	STATI UNITI	4
IOSTAR Corporation	STATI UNITI	4
Rockwell International Corporation	STATI UNITI	3
Rolls-Royce PLC	GRAN BRETAGNA	3
Thales	FRANCIA	2
Thales Alenia Space Spa	ITALIA	1

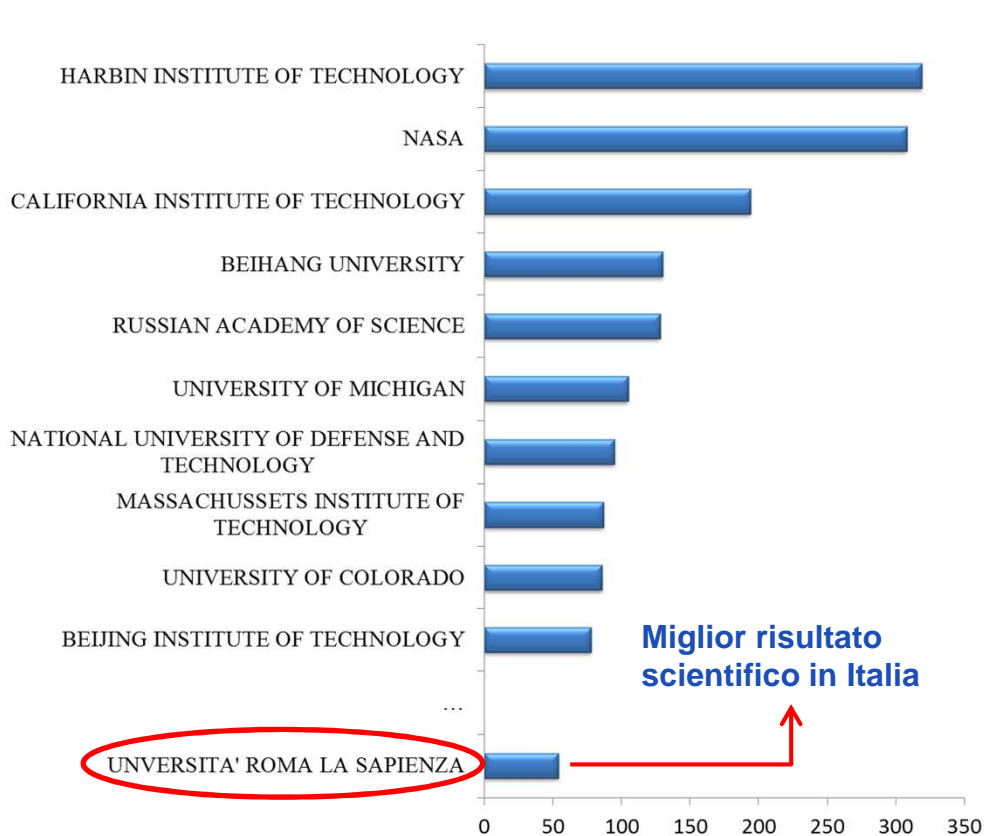
# CONFRONTO PUBBLICAZIONI-BREVETTI «Sistemi propulsivi»



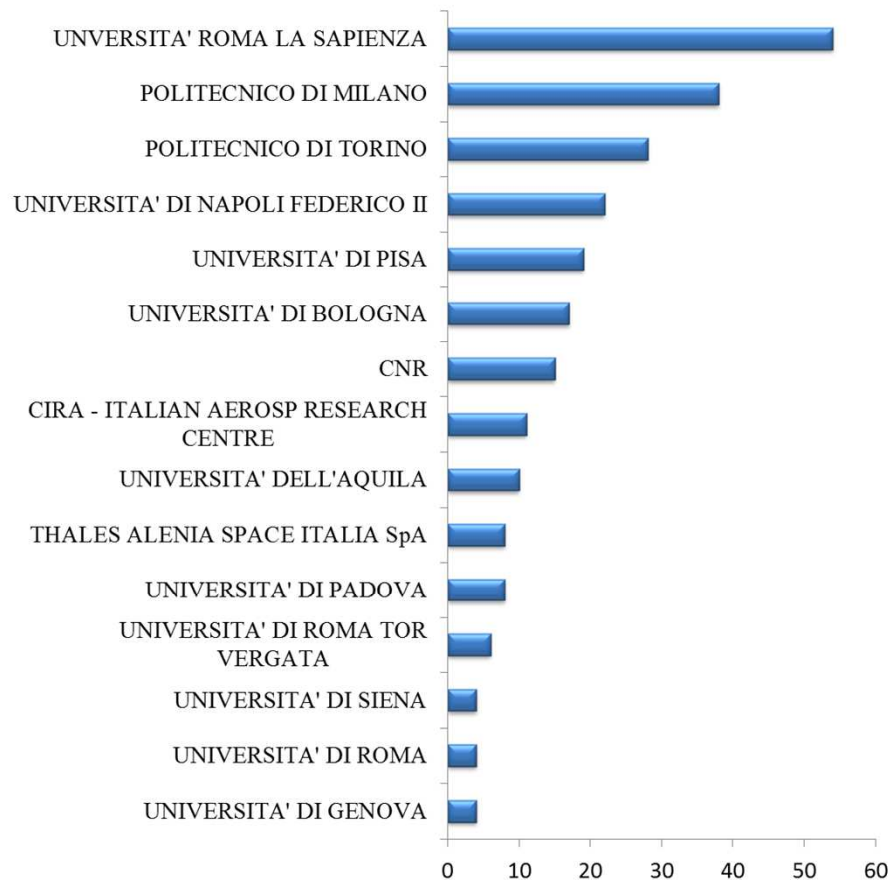
# PRODUZIONE SCIENTIFICA (1990 – 2015)

## «Guida navigazione e controllo»

### Nel mondo (Top 10)



### In Italia

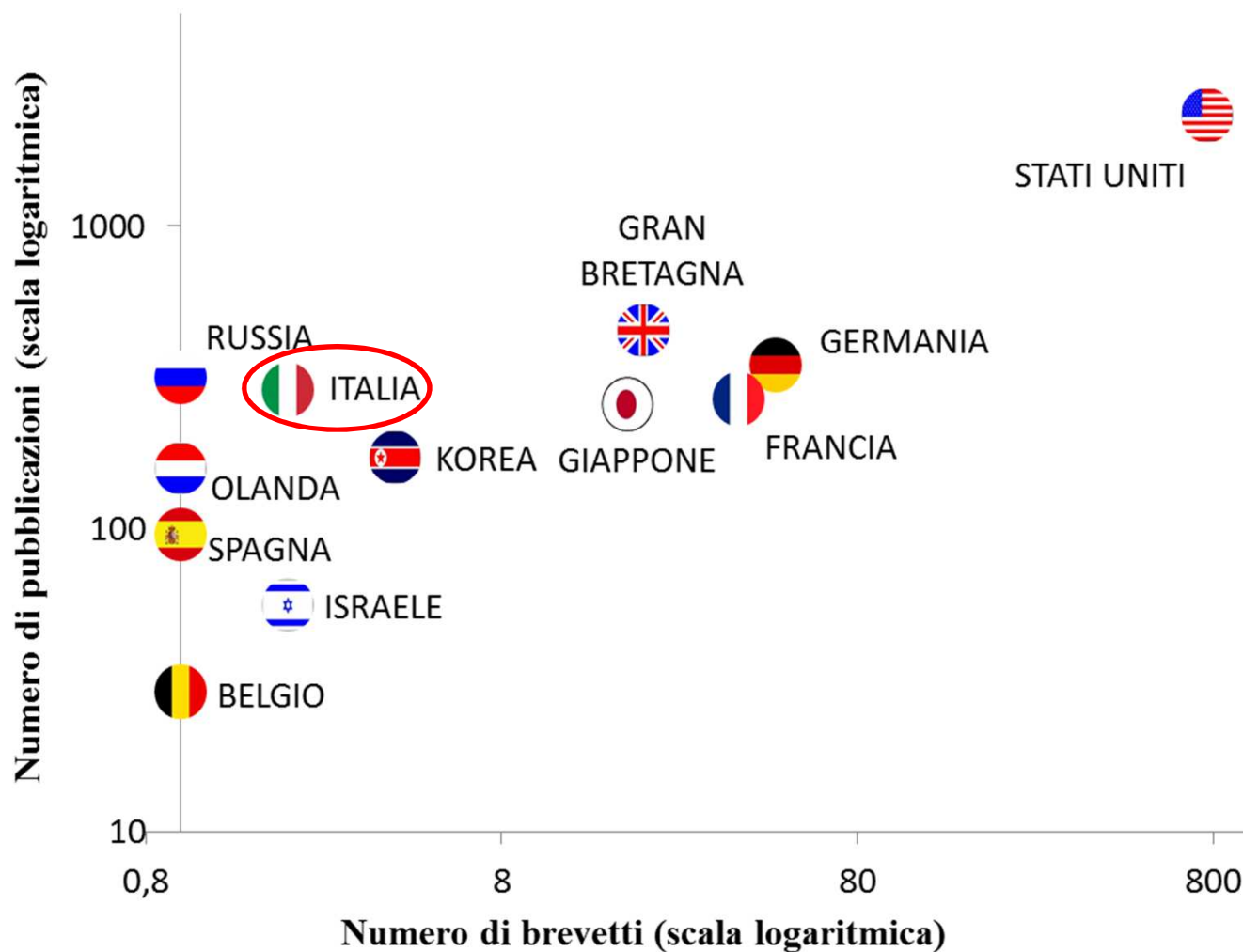


## PRODUZIONE BREVETTUALE NEL MONDO (1976 – 2015) «Guida navigazione e controllo»

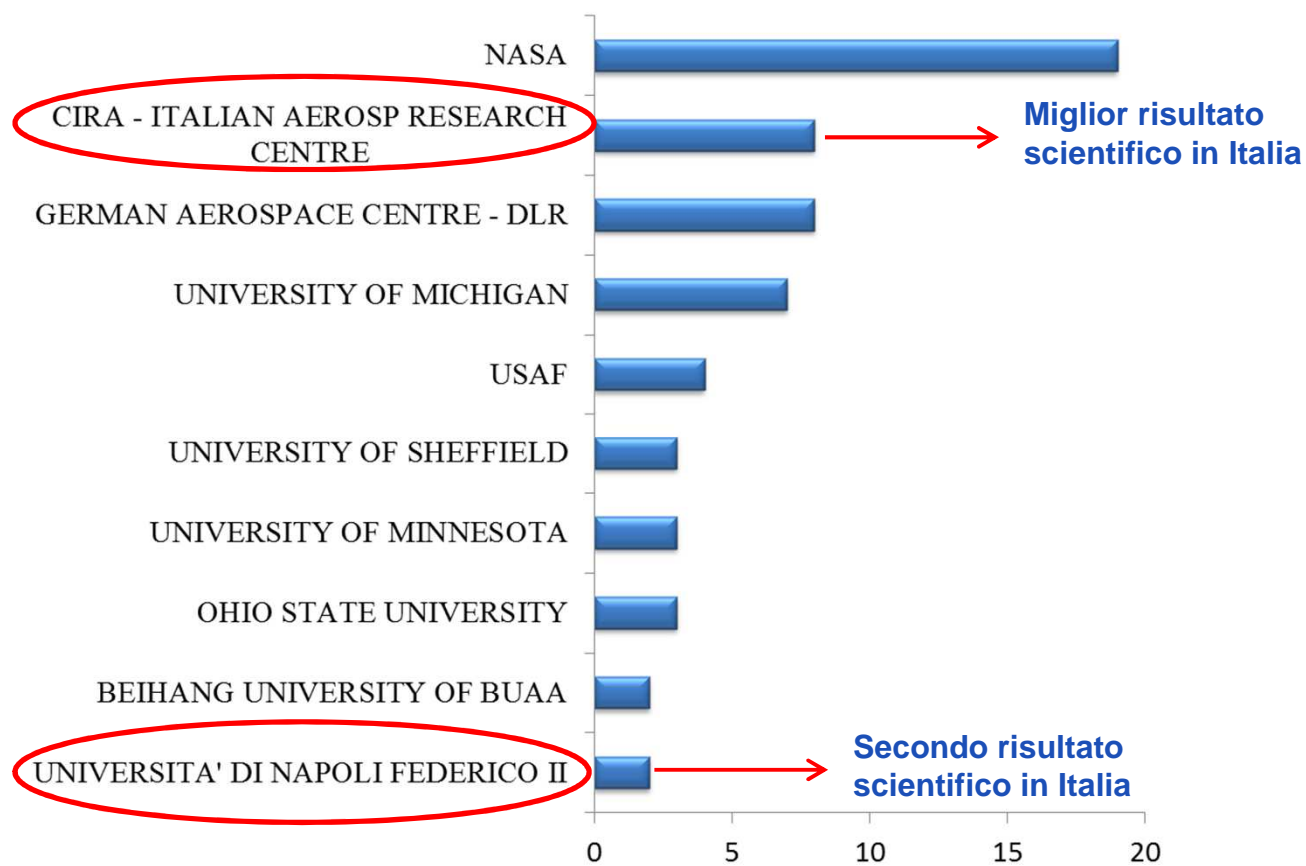
Organizzazione	Nazionalità	Brevetti
The Boeing Company	STATI UNITI	173
Hughes Electronics Corporation	STATI UNITI	61
Lockheed Martin Corporation	STATI UNITI	61
The United States of America	STATI UNITI	62
Honeywell International Inc.	STATI UNITI.	49
Space Systems/Loral, Inc.	STATI UNITI	47
Hughes Aircraft Company	STATI UNITI	30
General Electric Company	STATI UNITI	20
TRW Inc.	STATI UNITI	20
RCA Corporation	STATI UNITI	17
Martin Marietta Corp.	STATI UNITI	11
Astrium GmbH	GERMANIA	10
Raytheon Company	STATI UNITI	9
Northrop Grumman Corporation	STATI UNITI	8
British Aerospace Public Limited Company	GRAN BRETAGNA	7
Thales	FRANCIA	6
...	...	...
Thales Alenia Space SpA	ITALIA	1
Danieli & C. Officine Meccaniche SpA	ITALIA	1

# CONFRONTO PUBBLICAZIONI-BREVETTI

## «Guida navigazione e controllo»



## Risultato complessivo a livello mondiale

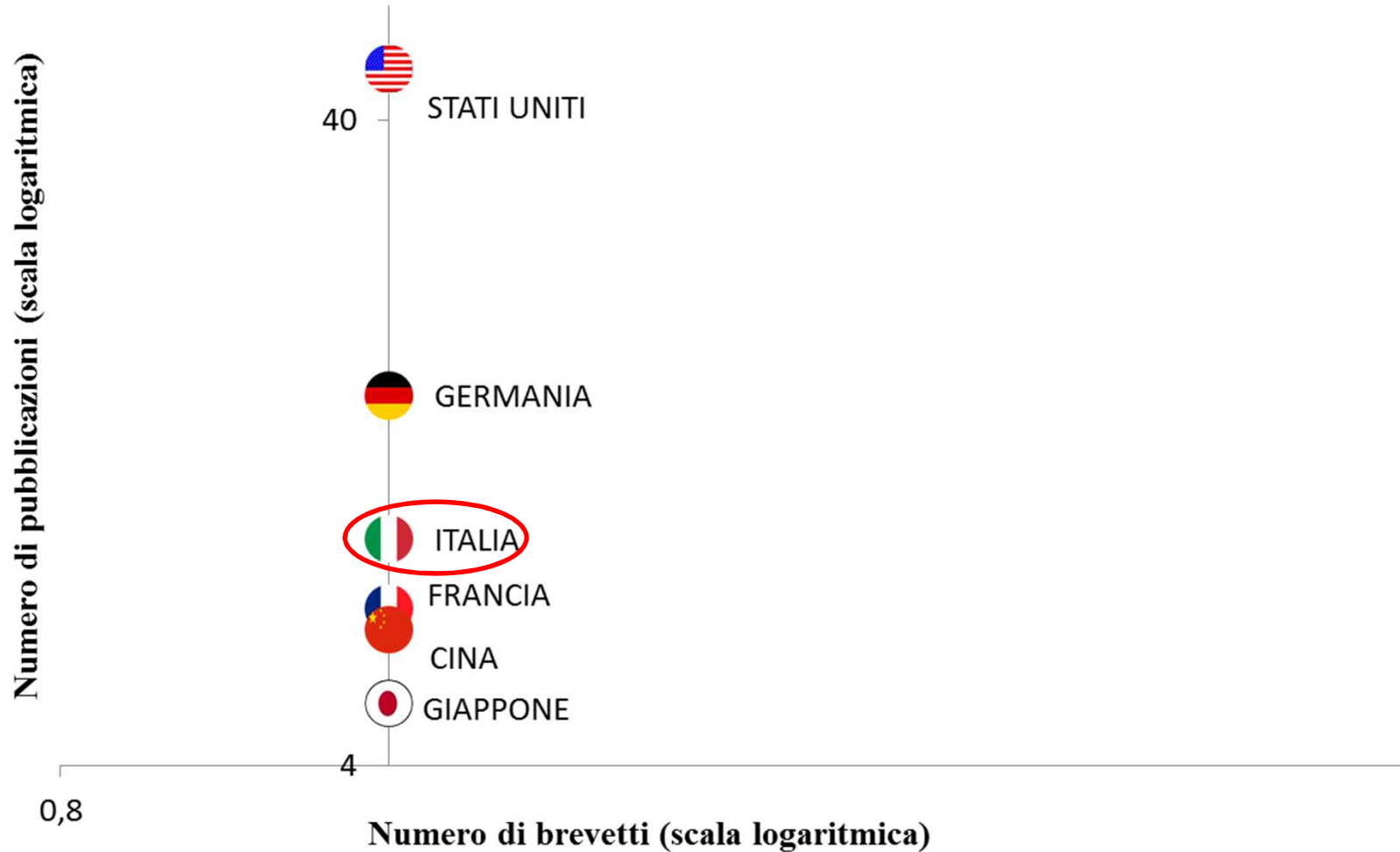


# PRODUZIONE BREVETTUALE NEL MONDO (1976 – 2015) «Aerotermodinamica»



**Nessun brevetto è stato identificato per questo  
dominio tecnologico**

# CONFRONTO PUBBLICAZIONI-BREVETTI «Aerotermodinamica»





### Risultati per l'Italia

- L'Italia presenta rilevante produttività scientifica nei domini “Strutture e Materiali”, “Sistemi propulsivi” e “Guida navigazione e controllo”
- La produzione scientifica è paragonabile a quella delle più avanzate economie europee (Germania, Francia e Gran Bretagna) ed è superiore a quella asiatica
- Vi è notevole discrepanza tra produzione scientifica e brevettuale, dove quest'ultima risulta essere quasi assente
- A differenza dell'Italia, le più avanzate economie europee presentano un migliore bilanciamento tra produzione scientifica e brevettuale

### Potenziali ulteriori sviluppi

- I dati brevettuali possono essere integrati analizzando altri database (e.g., European Patent Office, Japanese Patent Office, Chinese Patent Office)
- Per migliorare la localizzazione geografica dell'attività brevettuale, la mappatura può essere condotta a livello di singolo sito produttivo o divisione nel caso di multinazionali
- La mappatura può includere soluzioni tecnologiche non comprese nei domini identificati, ma complementari agli stessi e necessari al loro sviluppo
- Mappatura territoriale focalizzata sullo studio delle capacità tecnologiche dell'Italia attraverso incontri con imprese e centri di ricerca nazionali, includendo valutazioni più specifiche riguardo il livello di readiness tecnologico

## CONSIDERAZIONI FINALI

- L'attività sviluppata ha messo in evidenza che esistono a livello nazionale una serie di potenziali e qualificate capacità sia tecniche che scientifiche.
- Tali capacità devono essere ulteriormente indagate, strutturate e messe a sistema in modo che l'Italia possa elaborare una sua proposta strategica e/o inserirsi nel complesso e articolato panorama internazionale della R&D nel settore ipersonico facendo valere le sue competenze migliori.
- Lo studio effettuato può considerarsi un preliminare ma solido riferimento per avviare una riflessione su una possibile strategia nazionale e iniziare ad elaborare una *roadmap* mirata alla costruzione di un programma di R&D nel settore ipersonico, in linea con le categorie analizzate e descritte dal GdL CESMA.

*Qualunque cosa un uomo possa immaginare, altri uomini  
possono renderla reale (Jules Verne)*

***Grazie per l'attenzione***

[antonio.gammarota@thalesaleniaspace.com](mailto:antonio.gammarota@thalesaleniaspace.com)