



# Il "fattore segnaturo" nella progettazione delle moderne unità navali

requisiti, interazioni e compromessi con il design della Piattaforma e del Sistema di Combattimento

Contrammiraglio Pasquale de CANDIA

MARISTAT 7° REPARTO



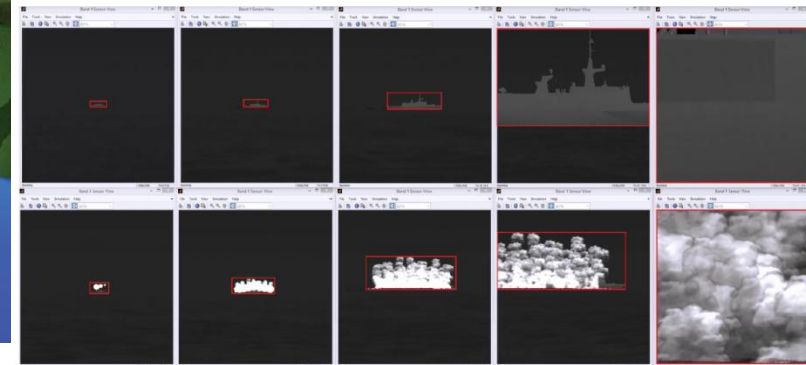
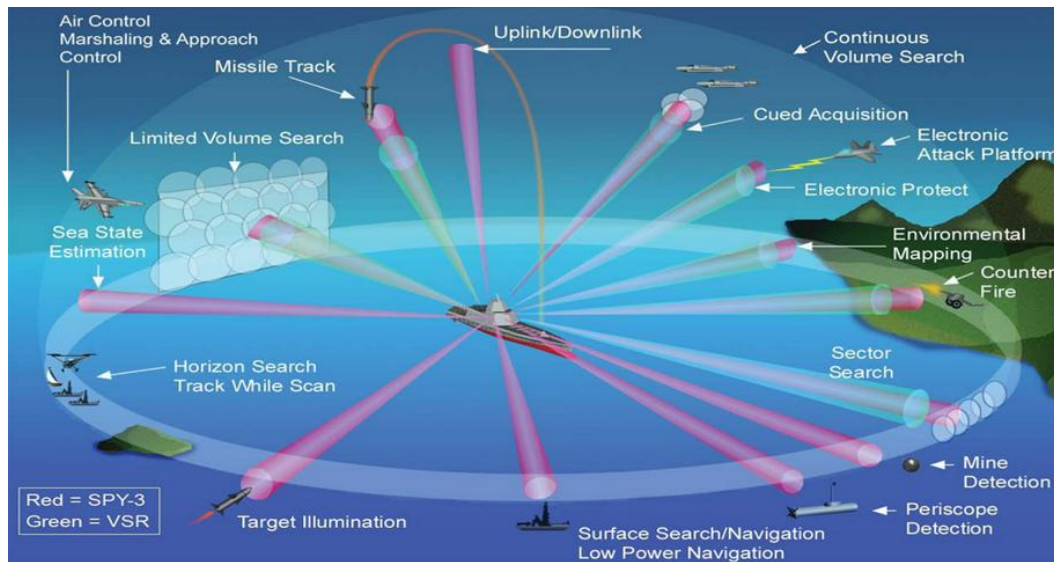
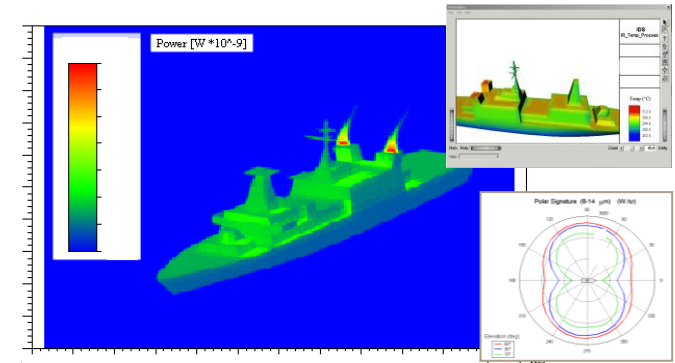
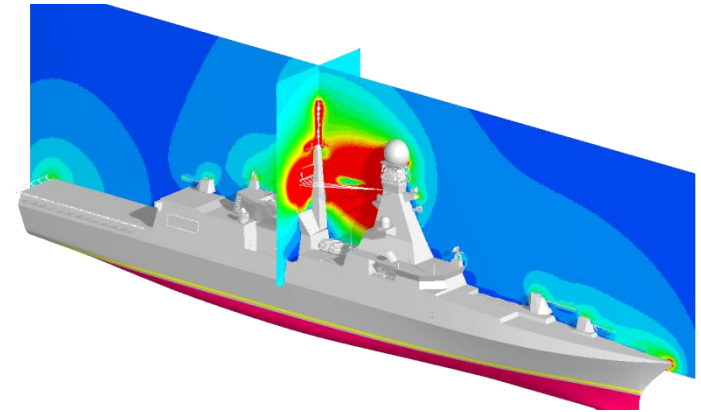


- Capacità di sopravvivenza dell'Unità
- La segnatura RADAR e IR
- Obiettivo di riduzione della Segnatura
- Definizione dei requisiti operativi
- Riduzione della segnatura in fase progettuale
- Verifica del requisito di segnatura
- Conclusioni e Prospettive

# INTRODUZIONE

La **capacità di sopravvivenza** di una U.N. dipende dalla capacità di:

- **scoprire** la minaccia in tempo utile
- **ridurre** la probabilità di essere scoperti
- **eludere/neutralizzare** la minaccia



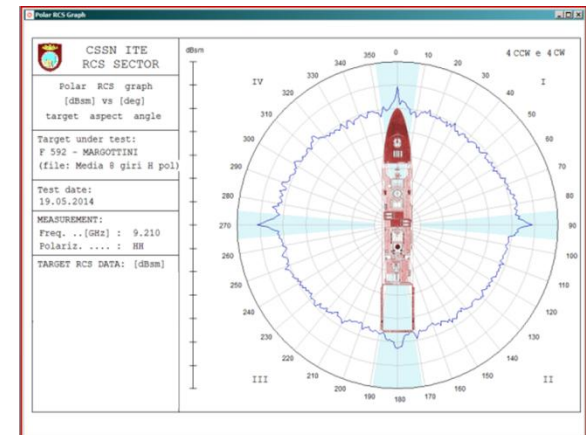
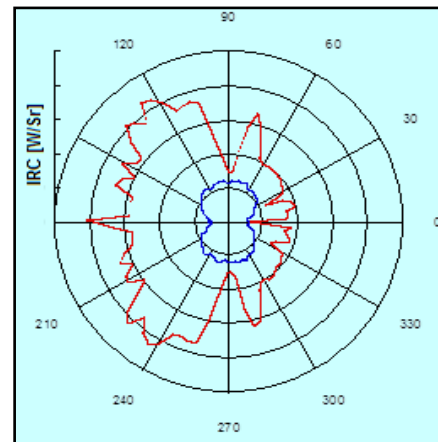
# LA SEGNAURA RADAR / IR

## SEGNATURA RADAR

- Caratteristica dell'Unità di riflettere le onde elettromagnetiche incidenti emesse da un RADAR.

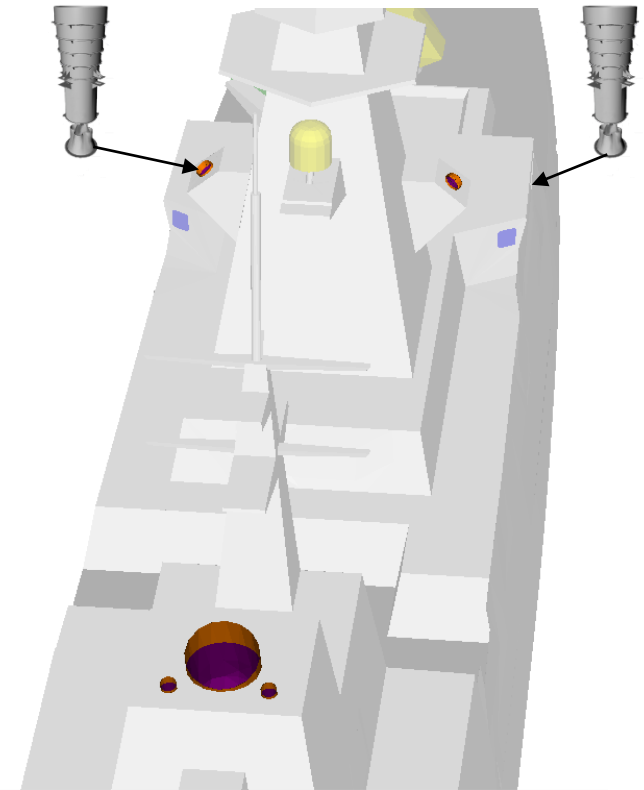
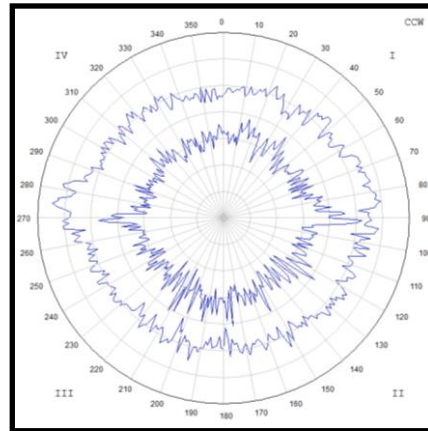
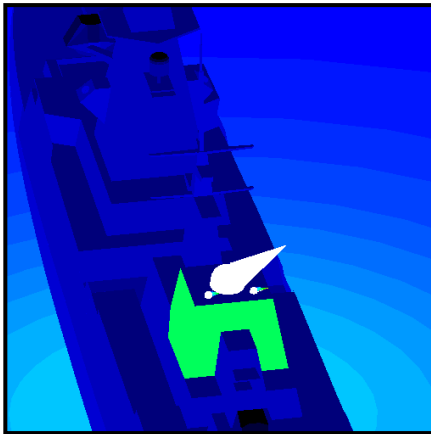
## SEGNATURA IR

- Caratteristica dell'Unità di emettere radiazione termica rilevabile da sensori operanti nelle bande dell'Infrarosso.



# RIDUZIONE DELLA SEGNAURA

Nell'ambito del progetto di una Nave militare combattente, la riduzione delle segnature si inquadra nel più generale obiettivo di ottimizzare le varie caratteristiche dell'Unità per ottenere una **capacità di sopravvivenza più elevata possibile.**





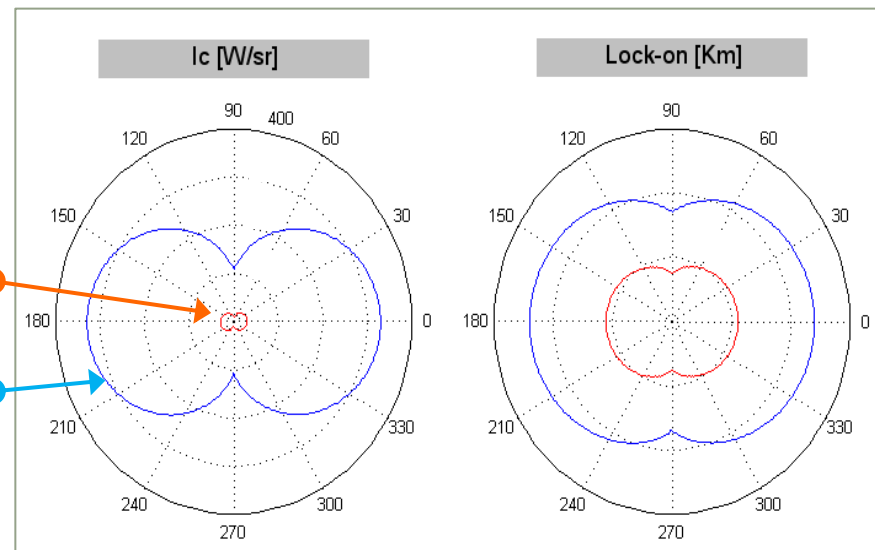
La riduzione della Segnatura RADAR / IR ha lo scopo di:



- rendere **meno visibile** l'Unità ai sensori della minaccia
- **aumentare l'efficacia** dei sistemi di contromisura



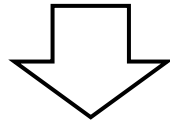
Tipologia piattaforma	Intensità radiante MWIR	Andatura (diesel)
SIR ridotta		
SIR normale		



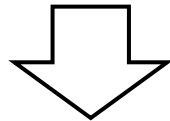
# SEGNATURA IN PROGETTAZIONE



**STUDIO SULLA CAPACITA'  
DI SOPRAVVIVENZA**



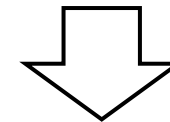
**REQUISITO OPERATIVO  
RCS / IR**



**VALUTAZIONE:**

- **COSTO**
- **IMPATTO SULLE ALTRE PRESTAZIONI**

**REQUISITI  
OPERATIVI**



**REQUISITI  
CONTRATTUALI**

# REQUISITO DI RIDUZIONE SEGNAURA



Le signature sono direttamente correlate all'efficacia delle contromisure soft-kill (ECM & decoy) e ne condizionano la scelta in termini di tipologia e impiego.

Una progettazione accurata delle UU.NN. deve necessariamente bilanciare numerosi fattori

*posizione?*

*topside?*

*tipologia?*

*scenario?*

*impiego?*

*ERP?*

**EWS vs Signature vs chaff/flare vs minaccia**

*reazioni  
ECM?*

*RAM?*

*temperature?*

*dotazione?*

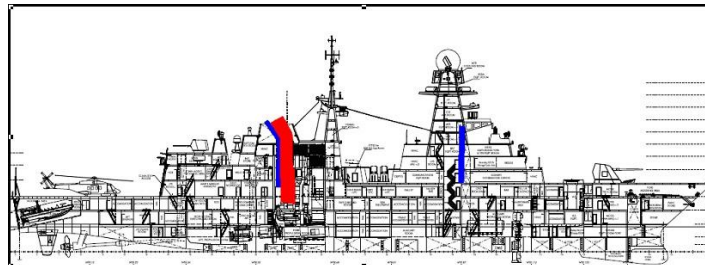
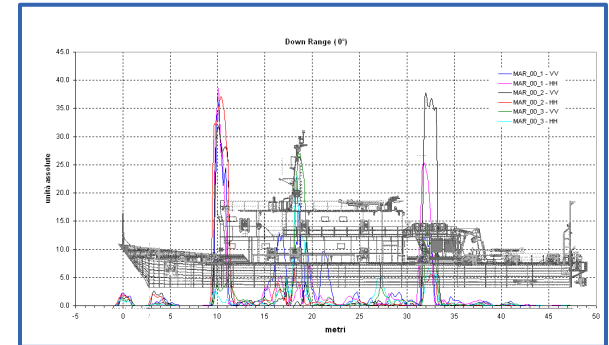
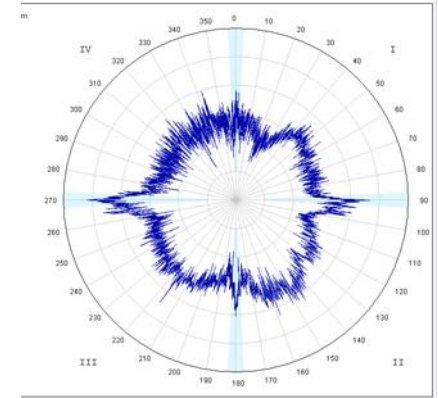
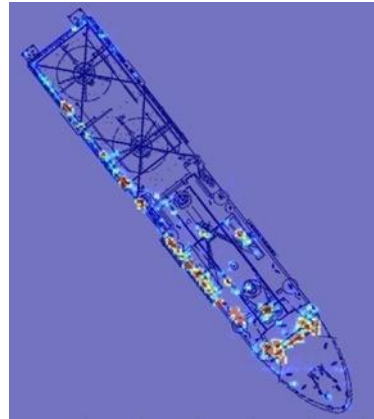
*INTEL?*



# SEGNATURA IR IN PROGETTAZIONE

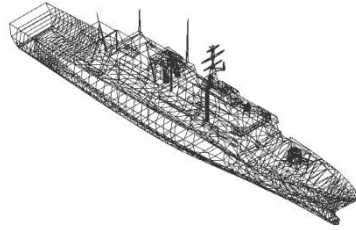
Il progetto di Unità a Segnatura IR controllata impone un mutamento della filosofia progettuale:

- riconsiderazione delle forme
- sistemi propulsivi
- temperature in gioco
- ubicazione allestimenti

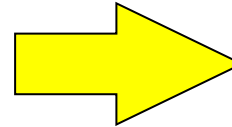
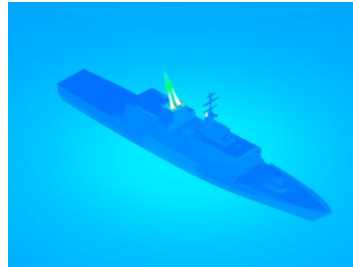




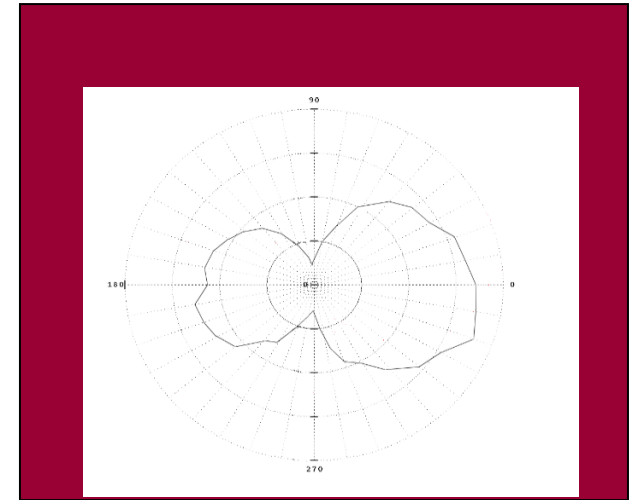
MODELLO  
CAD



SORGENTI  
DI CALORE



## VALUTAZIONE SEGNATURA



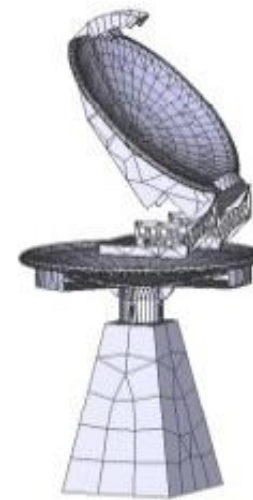
Valutazione Segnatura IR in fase progettuale:

- simulazione su modelli CAD
- studi sulle sorgenti di calore
- studi sugli impatti dei materiali

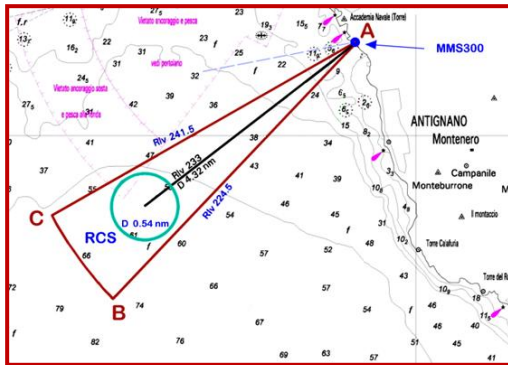
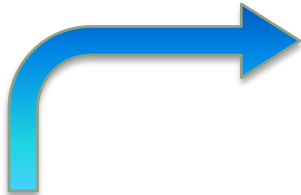


Valutazioni Segnatura RADAR in fase progettuale:

- simulazione su modelli CAD
- studi sugli impatti delle forme
- studi sugli impatti dei materiali

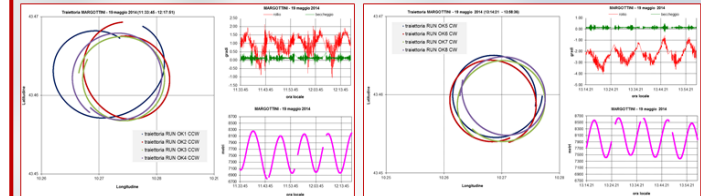


# VERIFICA REQUISITO SEGNATURA RADAR

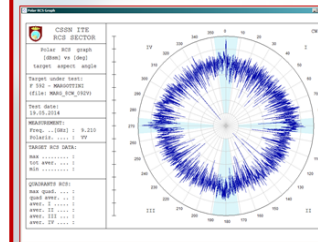


- polarizzazione VV e HH;
- 8 corse circolari (4 CCW e 4 CW).

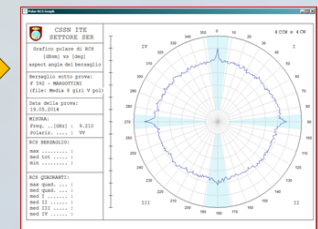
## DATI CINEMATICI CORSE ESEGUITE



## ELABORAZIONE DATI ESEGUITA



➤ Calcolo del valore medio, applicato alla medesima direzione angolare, per le 8 (otto) corse effettuate; definiti "Serie ridotta di 360 valori medi RCS".



➤ Base dati di RCS acquisite durante una rotazione dal Radar MMS-300; definiti (Valori assoluti di RCS misurati).

# VERIFICA REQUISITO SEGNATURA IR

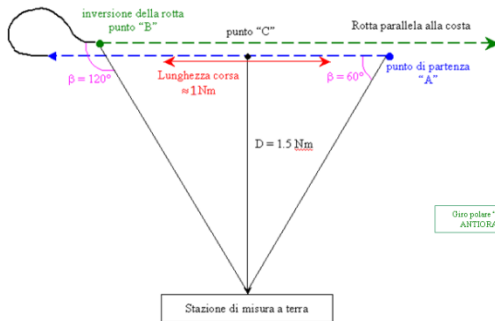
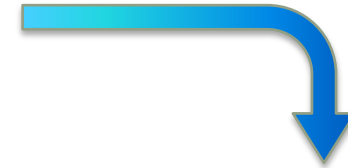


Fig. 2 corse Alfa e Bravo

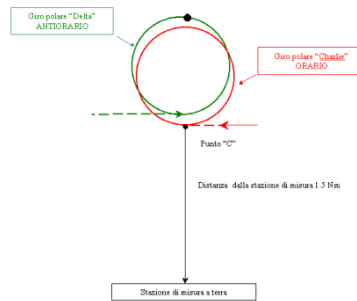
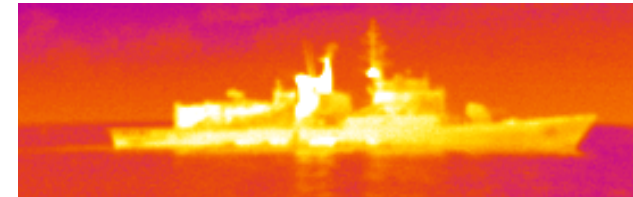


Fig. 3 Corse Charlie e Delta



Stato & Moduli Analisi

Param. #1: Distanza Soggetto = 940 [m]  
 Tracce = 59.52°C ; Tracce = 52.70°C ; Traccia = 34.54°C ; Tasse\_IM = 2.617  
 BORDI : Tracce = 58.22°C ; Tracce = 52.52°C ; Traccia = 34.58°C ; Tasse\_IM = 2.245  
 BORDI : Tracce = 56.52°C ; Tracce = 52.52°C ; Traccia = 32.62°C ; Tasse\_IM = 1.252  
 Distanza-azione-obbiettivo [m] right - Caviglio-azione-ruota

MASSA TERMICA - SOGGETTO:  
 Seglie-impianti-nell'arabico: Teflon=0.0/0.0  
 Tracce = 58.52°C ; Tracce = 52.52°C ; Traccia = 34.58°C ; Traccia = 34.52°C  
 Massa: Area = 202.00 [m^2] ; SA = 948.33 [m^2] ; SA = 1.94 [m^2] ; Area=0.00 [m^2]

MASSA TERMICA - SFONDO:  
 Teflon = 52.62°C

MASSA FUSIONISTICA:  
 Area=0.00 = 21.39 [m^2] [m^2] ; Infilzatura = 0.00m=0.00 [m] ; Puffaggio = 1.20m=0.00 [m]  
 Area=0.00 = 20.00 [m^2] [m^2] ; Infilzatura = 0.70m=0.00 [m]  
 Infilzatura = 1.00m=0.00 [m]

# Progettazione, Verifica & Validazione

## VERIFICATION & VALIDATION

Validation: did we build the right system?

Verification: did we build the system right?

La **verifica** del progetto specifico "di componente" (es. piattaforma, contromisure) avviene durante lo sviluppo (M&S, DT&E) e nell'ambito delle qualifiche.

Al termine dello sviluppo, campagne di Test in ambiente rilevante e operativo (OT&E) permettono di **validare** la bontà complessiva del progetto (piattaforma, contromisure + procedure), nonché di **verificarne** il mantenimento dei requisiti (e concorrere all'addestramento):

### Prove GE, EW Trials nazionali, NATO NEMO Trials

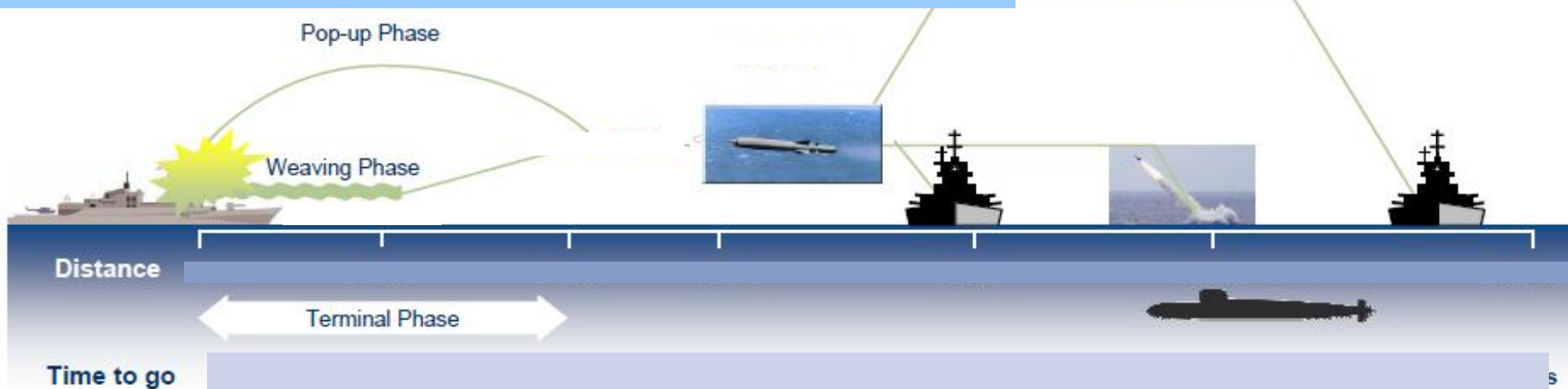
costituiscono le uniche occasioni di *Verifica & Validazione* "a tutto tondo".

# CONCLUSIONI

Le Segnatura RADAR/IR nello scenario operativo, considerando:

- la reciproca distanza di scoperta nave-minaccia con i sensori di nuova tecnologia
- la capacità di contrasto *soft kill* dei sistemi attivi
- le tecniche di lancio e l'efficacia dei *decoy*

deve essere valutata in termini di costo/efficacia **dalle primissime fasi del progetto** (i.e. definizione dei requisiti)







# I «Seeker» Antinave Italiani: fra Tradizione e Innovazione

CISAM, San Piero a Grado (PI), 31 Maggio 2017

«La Segnatura Radar ed Elettrottica delle Moderne Unità Navali»



# Cronistoria dei Seeker Leonardo

1970

- Sviluppo del missile SSM OTOMAT/TESEO
- Sviluppo del seeker ST-2 (analogico)
- Lancio da aliscafo classe Sparviero del missile TESEO

1980

- Sviluppo del missile ASM MARTE MK2
- Sviluppo del seeker SM-1 (analogico)
- Lancio da elicottero SH-3D del missile MARTE

1990

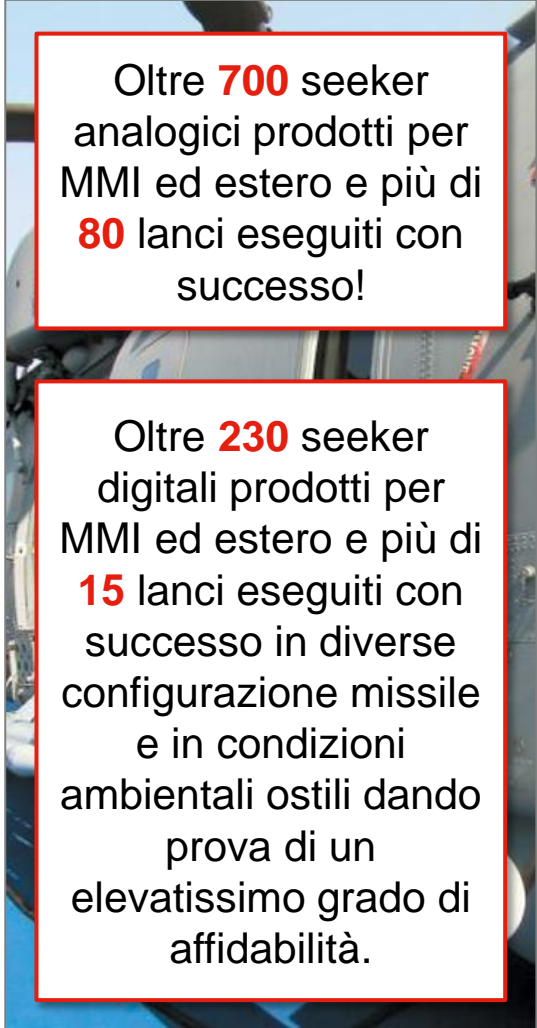
- Aggiornamento del missile MARTE in versione MK2/A per impiego su aerei
- Lancio da aereo MB-399 del missile MARTE

2000

- Aggiornamento del missile MARTE in versione MK2/S per impiego su elicotteri EH101 e NH90; aggiornamento del missile TESEO in versione MK2/A
- Sviluppo del dimostratore in banda Ku ULISSE
- Sviluppo del seeker SM-1S e ST-2S (digitale)
- Lancio da elicottero EH101 del missile MARTE; lancio da caccia classe DDP del missile TESEO

2010

- Aggiornamento del missile MARTE in versione MK2/N
- Sviluppo delle versione "export" dei seeker digitali
- Lancio da nave classe Gannatha del missile MARTE
- Avvio del programma di aggiornamento dei seeker alla versione Mk2



Oltre **700** seeker analogici prodotti per MMI ed estero e più di **80** lanci eseguiti con successo!

Oltre **230** seeker digitali prodotti per MMI ed estero e più di **15** lanci eseguiti con successo in diverse configurazione missile e in condizioni ambientali ostili dando prova di un elevatissimo grado di affidabilità.

# Contesto di Riferimento e Opportunità Industriali

## Partnerhisp MBDA – Leonardo/ETN

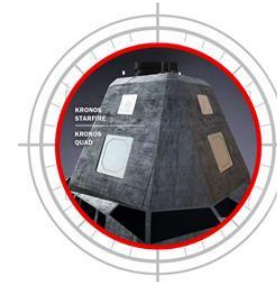
- Vivacità del mercato export con un «prospect» particolarmente significativo
- Requisito di manutenibilità e la producibilità dei seeker antinave fino al 2020
- Estese obsolescenze tecnologiche su diversi sottosistemi
- Intervenire in modo radice, soluzioni provvisorie non sono più industrialmente sostenibili



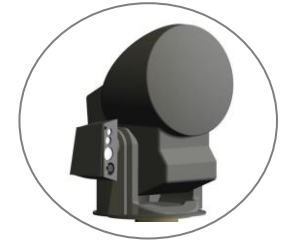
## Esternalità Positive da «Legge Navale»



**SPS-732**



**AESA X**

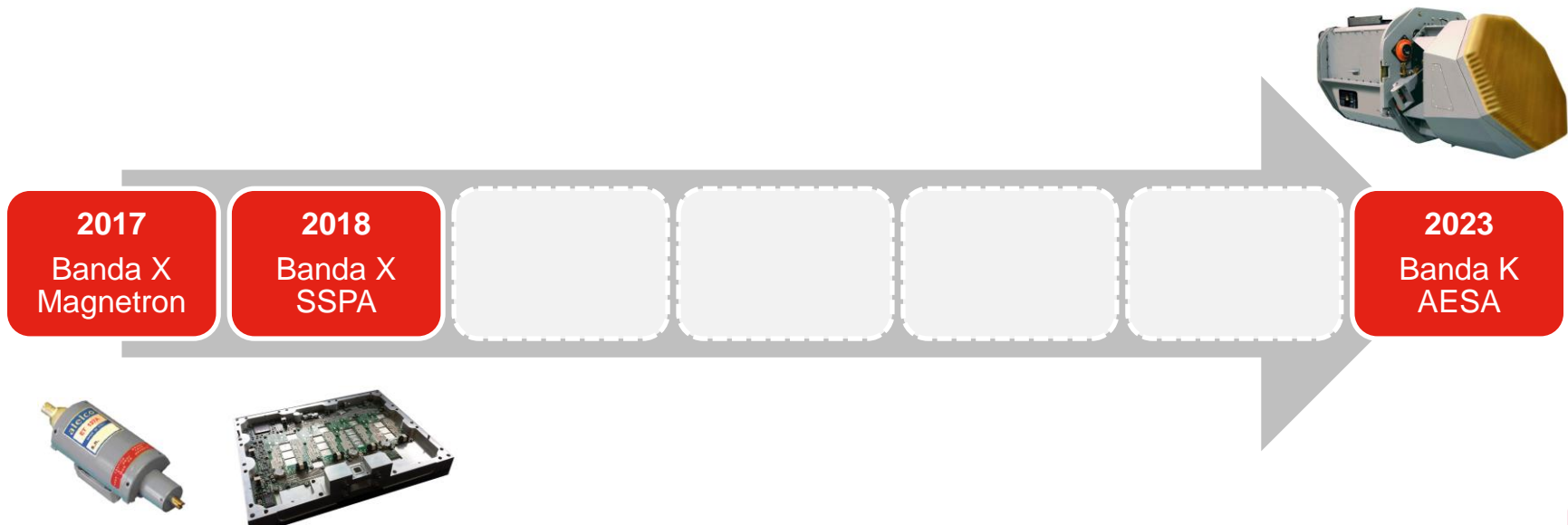


**ADT-NG**

- Concomitanza di diversi e importanti sviluppi di radar innescati da programmi di ammodernamento delle flotta nazionale e di altri paesi
- Sfruttare le ricadute tecnologiche e il riuso di componenti, moduli e algoritmi sviluppati e validati su altri programma riducendo i rischi tecnologici derivanti da uno sviluppo stand-alone
- Elevato grado di «contiguità» con i radar SPS-732 e ADT-NG in banda K e possibilità di mettere a comune le tecnologie a stato solido GaN, i sintetizzatori digitali di frequenze DDS e parte dell'elettronica digitale di controllo

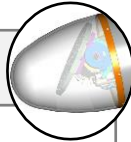
## Premessa sull'Evoluzione dei Seeker

- L'evoluzione dei seeker prevedrà nel **prossimo futuro** lo sviluppo di nuove tecnologie e sensori a **bande più elevate**.
- Al fine di garantire la **producibilità del seeker** attuale e per rispondere alle **esigenze di mercato**, in particolare quello estero, Leonardo ha previsto **l'introduzione immediata della tecnologia a stato solido sui propri seeker**.
- Questo sviluppo si configura come un «gap filler» volto a soddisfare le richieste del mercato in attesa di definire con l'utilizzatore finale e la design authority del missile la prossima evoluzione dei seeker antinave italiani.
- Leonardo e MBDA insieme stanno definendo una roadmap di sviluppo di un seeker italiano in banda Ku (con possibili evoluzioni ad architetture AESA) per applicazioni navali e terrestri.



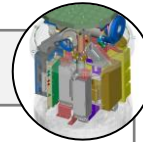
# Focus sulle Tecnologie del «Seeker Mk2»

## Gruppo Antenna



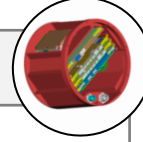
- **Antenna Printed/WG**
  - Tecnologia printed su PCB con «patch» risonanti in aria per la parte radiante
  - Tecnologia WG per il comparatore monopulse
  - Canale di guardia, di elevazione e azimuth, canale di calibrazione richiuso sul comparatore
- **Radome**
  - Tecnologia multistrato a elevata efficienza
  - Geometria definita per la minimizzazione dell'aberrazione del fascio RF
- **Servo**
  - Gimbal su 2 assi e giunto rotante ibrido Coax/WG
  - Motori brushless a presa diretta
  - Compensa l'assetto verticale del missile

## Gruppo RTX



- **SSPA**
  - Tecnologia a stato solido GaN
  - Integra componenti elementari sviluppati dalla Fonderia Leonardo (prossimamente fino alle power bar)
  - Rete di ricombinazione WG per la minimizzazione delle perdite
  - Nessuna necessità di manutenzione
- **Front End Receiver**
  - Tecnologia SMT ed eliminazione componenti soggetti a restrizioni
  - Aumento della banda RF (x3)
  - Riduzione della NF
- **Up-Converter**
  - Tecnologia SMT
  - Gestione dinamica della potenza per incrementare la capacità LPI
  - Compensa a rate di PRF il mismatching di fase dei canali RX
- **PLO**
  - Tecnologia SMT
  - VCO gestito con PLL per garantire le prestazioni in ambienti avionici

## Gruppo Processor



- **Exciter**
  - Tecnologia DDS di ultima generazione
  - Programmabile a rate di PRF per riconfigurazione delle forme d'onda del radar
  - Consente di massimizzare la scintillazione del bersaglio guadagnando così in portata
  - Gestisce le forme d'onda in logica C-ESM per aumentare la capacità EPM complessiva del sistema
- **Power Supply**
  - Elevata efficienza
  - Design compatto derivato da applicazione avionica (M-345) con montaggio di tipo «plug-in»
  - Predisposto per lo spegnimento delle parti critiche per supportare missioni di lunga durata

## Conclusioni

- ① I **seeker antinave Leonardo** hanno dato prova negli anni di un **elevatissimo grado di efficacia** ma hanno ormai raggiunto un punto della loro vita operativa in cui **un aggiornamento tecnologico esteso non è più rimandabile**.
- ② Il **mercato export** attraversa un momento **particolarmente favorevole** per i missili antinave leggeri.
- ③ La «**Legge Navale**» varata dal Governo Italiano e altre iniziative simili condotte da altri Paesi ha favorito con i suoi tanti sviluppi tecnologici **un programma di aggiornamento dei seeker antinave** nel più ampio alveo dei programmi di sviluppo radar attualmente in corso in Leonardo.
- ④ Il **progetto di aggiornamento** proposto da Leonardo **coniuga esigenze e opportunità industriali con la necessità di mantenere i seeker antinave allo stato dell'arte**, considerando anche l'ambiente particolarmente ostile in cui devono operare.



THANK YOU FOR YOUR ATTENTION





# Dual Band Radar: i nuovi sistemi basati su tecnologia AESA in banda C e X

*La segnatura radar ed elettroottica delle moderne unità navali: valenza, metodi per il controllo e sviluppi tecnologici*

**C.I.S.A.M.** 31 Maggio-01 Giugno 2017, San Piero a Grado (PI), Livorno (LI)

Sandro Immediata

Luca Timmoneri



# Sommario della presentazione

- Nuovi Requisiti operativi
- Evoluzione Radar AESA: Banda C e X
- DBR
- Sviluppi in corso
  - ✓ Antenna and TRM (Transmit and Receive Module)
  - ✓ System Manager
- Conclusioni

# NEW AESA

## Nuovi Requisiti Operativi

### Nuove Minacce



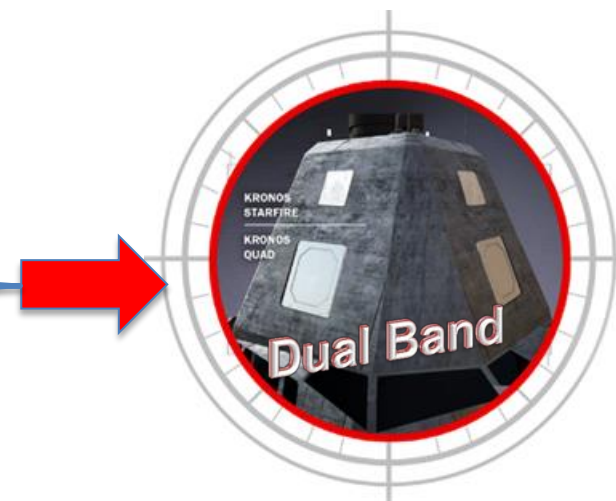
### Nuove Funzioni (Fire Control System, Jamming Attack,..)



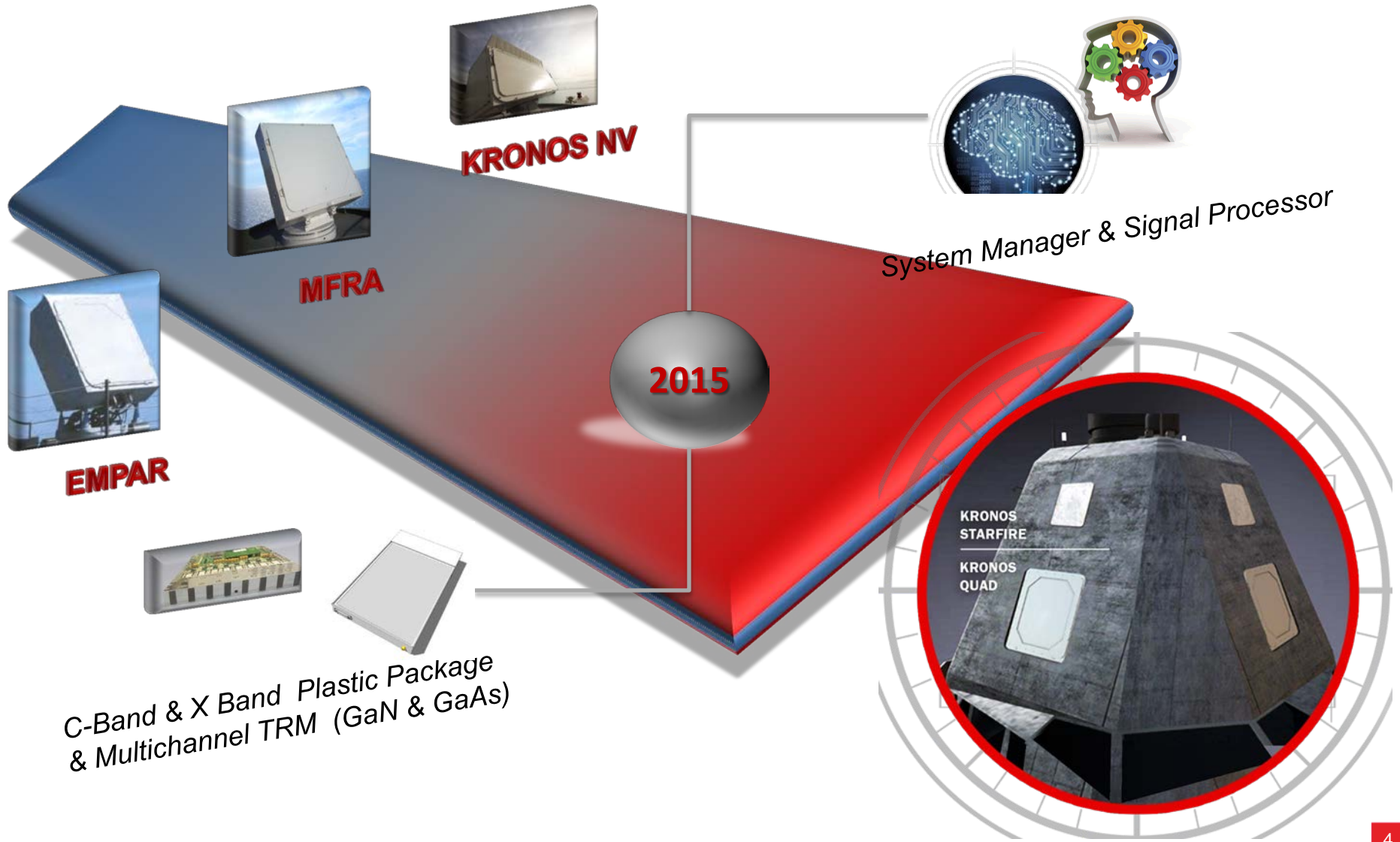
### Nuove Missioni & Requisiti (TBM & ABT, Low Ship RCS , Dual Use ,..)



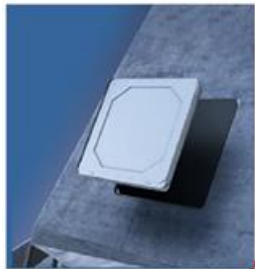
Company General Use



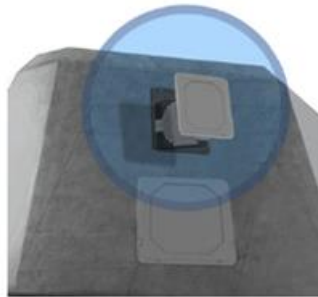
# Evoluzione Radar AESA: Banda C e X



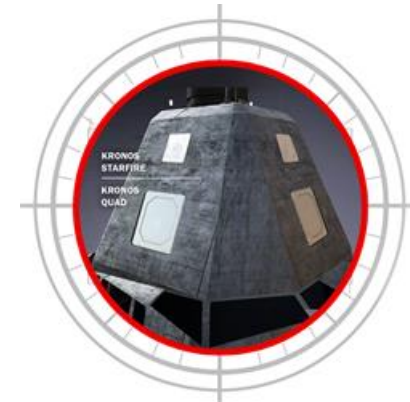
# IL DBR: Una nuova concezione di sistema integrato



**4 AESA C**

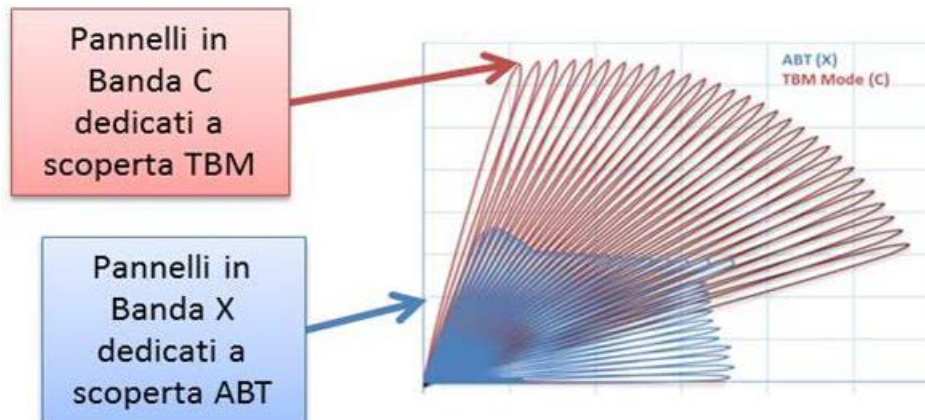


**4 AESA X**



Nuove funzione **aggiuntive** rispetto a quelle ottenute dall'impiego dei **singoli** sensori, sono:

- **Early Warning** in contemporanea alla difesa missilistica.
- Difesa ATBM sia in **modalità Autonoma** (senza Cueing da Early Warning) che su designazione esterna. Tale difesa è in **contemporanea** alla difesa missilistica a bassa quota.



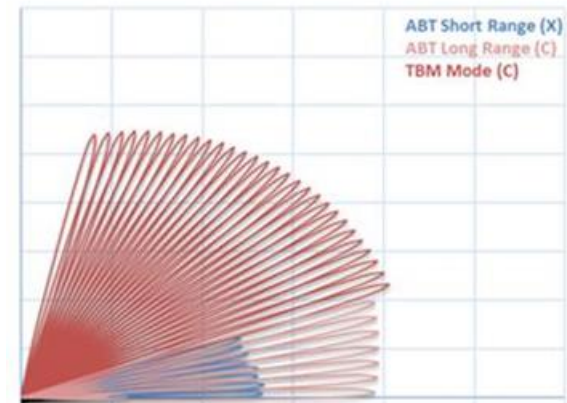
# DBR integrato con la Guerra elettronica

Funzioni **aggiuntive** di Sorveglianza (Attiva e Passiva) e **Contromisura** (Attiva e Passiva) del sistema integrato.

## ➤ High Sensitivity EWS Surveillance

Pannelli in Banda C dedicati a scoperta di una ridotta classe di TBM e scoperta ABT Long Range

Pannelli in Banda X dedicati a scoperta ABT Short Range



## ➤ Cooperative AFS & TOJ

Il DBR utilizza le **informazioni** delle tracce fornite dal **S/S EWS** per la selezione delle frequenze di **trasmissione** e delle tecniche **ECCM**.

## ➤ Digital Blanking

Il DBR fornisce al S/S EWS indicazione dei periodi di trasmissione RF di ciascun pannello e delle frequenze utilizzate.

## ➤ Powerful reaction against dangerous threats

Il DBR utilizza le **informazioni** delle tracce fornite dal **S/S EWS** classificate come «**minacciose**» per verificare se l'allarme è già sotto tracciamento 3D e, in caso negativo, esegue un task ad alta energia (**Burnthrough su direzione**) per rilevare la minaccia.

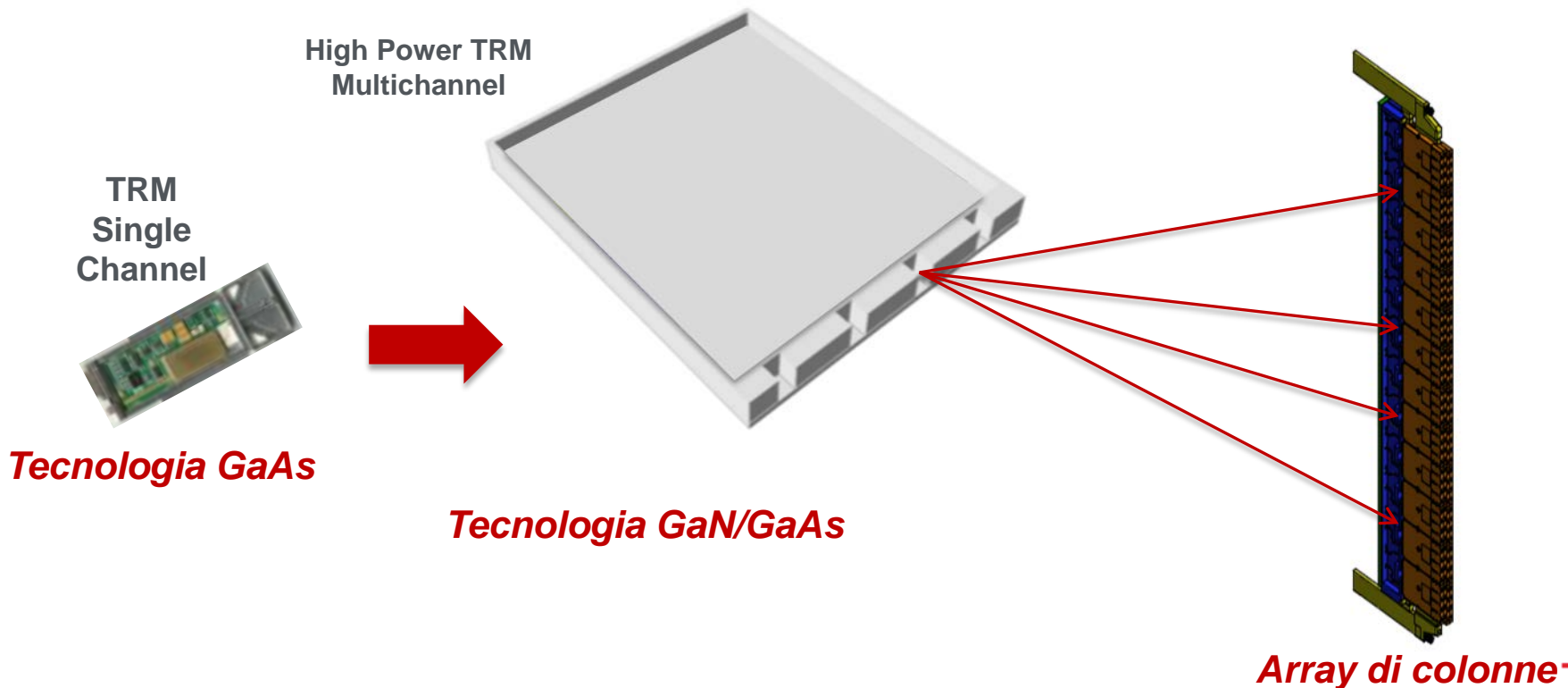
## ➤ Dual Mode Jamming

Il DBR, nella banda X, supporta la funzionalità Dual Mode Jamming, generando, su coordinamento del S/S EWS, un segnale di disturbo (**Electronic Attack**).

# Tecnologia Nuovi AESA

La soluzione si prefigge di ottenere Moduli T/R ad **alta prestazione e basso costo** (transizione da TRM Single Channel TRM a Multi-channel)

- **Tecnologia:** GaN/GaAs
- **Numero Canali T/R:** 4/8
- Elemento Radiante e parte della BFN inclusi
- Duplexer, CL e DC/DC integrati

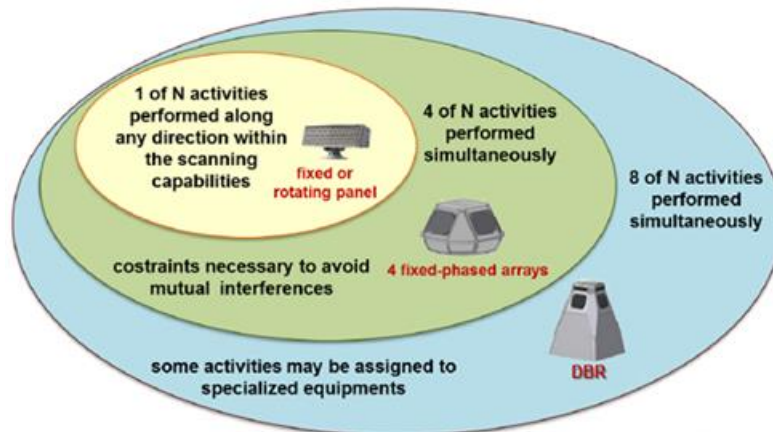


## DBR System Manager (1/3)



Il **System Manager** permette il **completo** uso delle **risorse** a disposizione **coordinando** in maniera opportuna i vari pannelli (sensori) **assegnando** a ciascuno le **attività** da svolgere, i tempi e le **priorità** delle attività. Opera inoltre come interfaccia con il mondo esterno, è modulare e **robusto** alle fault.

$$\text{Indicatore delle Performance} = \max_{t \in T} \{f_i(\text{Priorità, limiti, risorse}), t, i = 1 \dots N\}$$



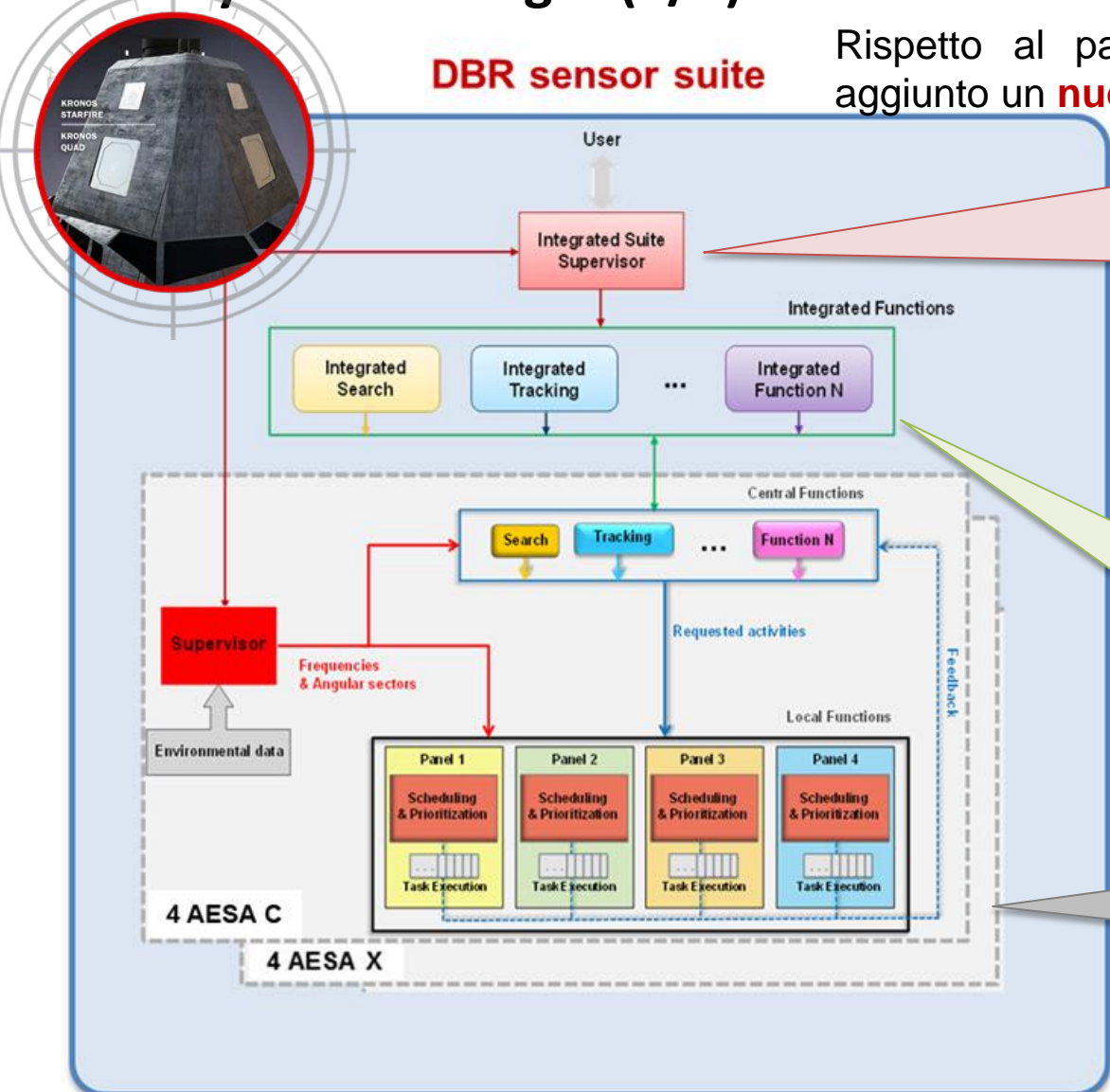
Il nuovo System Manager è **modulare**:

- Antenne rotanti e fisse
- 4 Facce Fisse
- DBR

# DBR System Manager (2/3)

## DBR sensor suite

Rispetto al passato (singoli sensori è stato aggiunto un **nuovo livello di integrazione**)



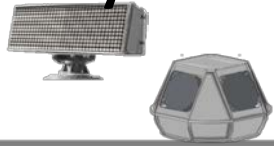
Il Supervisor integrato **risolve** i <<conflitti>> tra i vari sensori.

è il responsabile della **supervisione** dello stato di tutti i sensori.

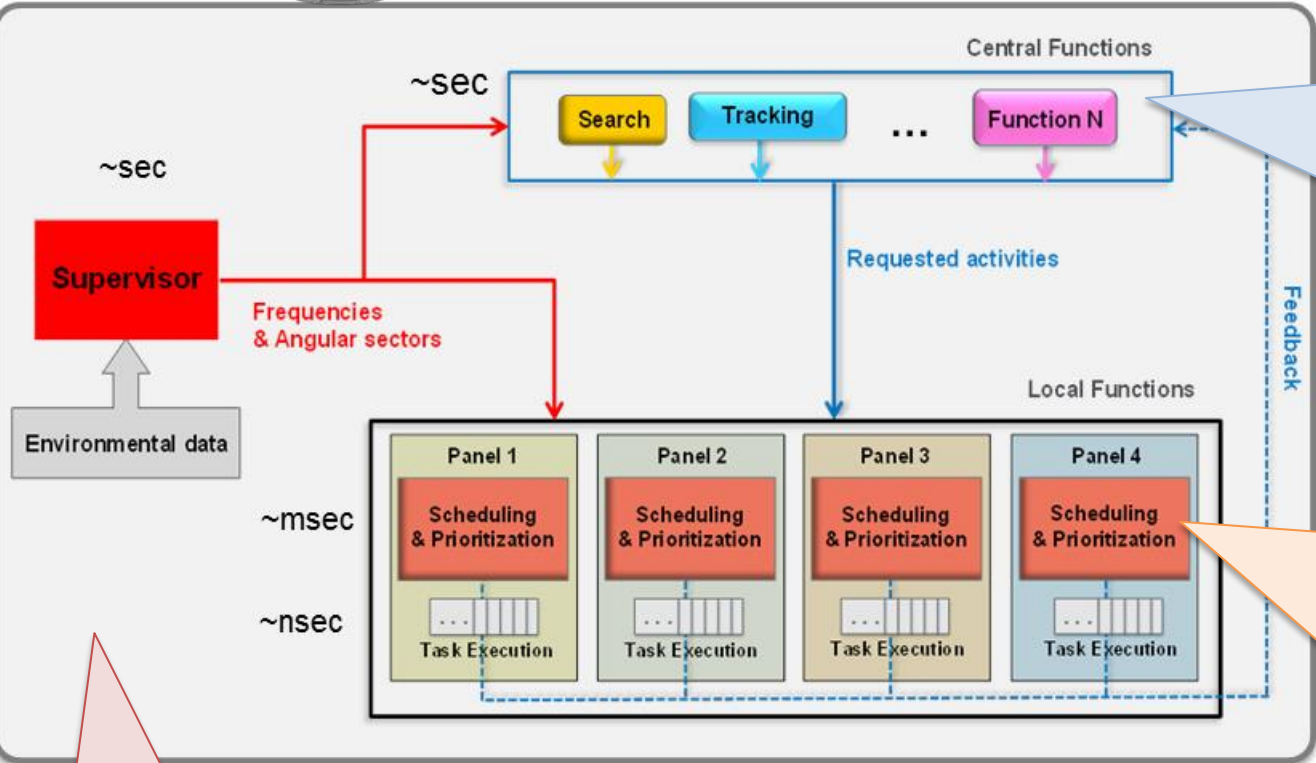
Le funzione integrate sono quelle che sono svolte da **più sensori** anche non omogenei. (EWS-RADAR)

A questo livello di **integrazione** le risorse sono i «**sensori**»

# DBR System Manager (3/3)



single sensor (da 1 a M pannelli)



Ciascuna funzione è progettata come un **“blocco elementare”**: Search, Tracking, Missile Guiding, Environment Monitoring, Active Jamming e tutte le funzioni di supporto. Questi blocchi sono i **“produttori”** di richieste di **attività di “base”**

Per gestire con la **massima efficienza** attività **«asincrone»** è stato implementato uno **scheduler** che opera in **tempo reale**:

Le attività sono **pianificate** considerando:

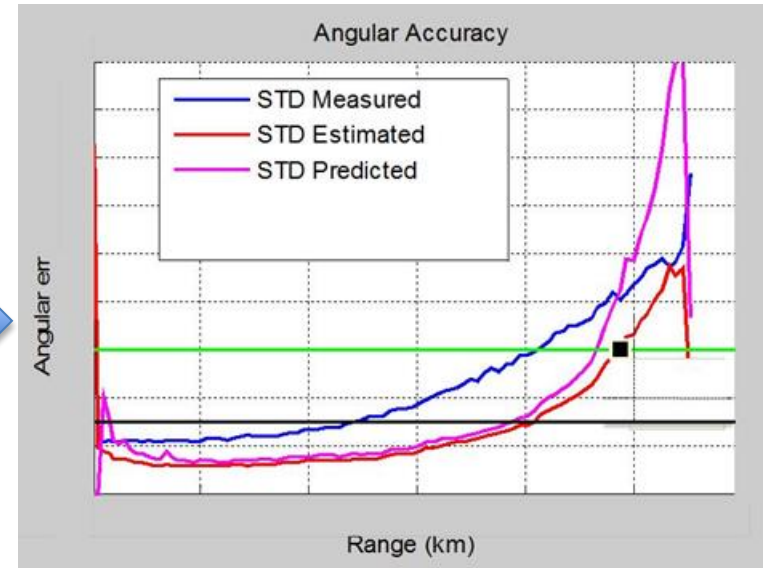
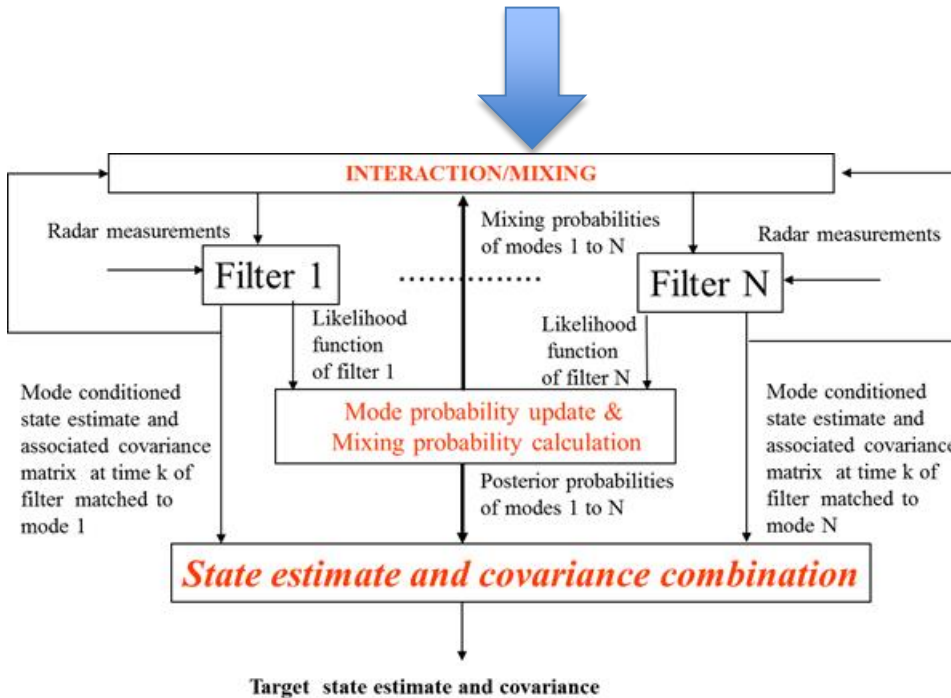
- Tutte le attività da processare,
- La loro priorità
- La loro anzianità
- Il loro tempo di rinnovo

Il **supervisor** risolve i **conflitti** tra i vari pannelli assegnando la **visibilità angolare** e le **frequenze**.

Per aumentare la **modularità** le funzioni sono divise per funzioni **centrali** e **locali**; Tutte le funzioni sono **sincronizzate** dal supervisor.

# Enhanced Tracking

La necessità di tracciare **contemporaneamente** minacce **convenzionali** e **balistiche** ha richiesto, oltre ad una corretta allocazione della banda radar usata, anche l'introduzione di modelli differenziati per tipologia di minaccia.



Il “**peso**” assegnato a ciascun **filtro** nel banco IMM da un’**indicazione** da parte del tracciatore della **cinematica** del **target** sotto osservazione: questa capacità “**intrinseca**” dell’algoritmo utilizzato **supporta** la **threat-evaluation** del sistema.

# Conclusioni

La **progettazione** e **sviluppo** di radar multifunzionali nella divisione ETN di Leonardo è iniziata più di 25 anni fa con il phased array passivo **EMPAR** che è stato successivamente installato sulle classi **Orizzonte** e sulla unità maggiore **Cavour**.

Il sensore **Grand Kronos Navale** è attualmente utilizzato nella classe **FREMM Bergamini** come radar del sistema **SAAM-ESD** (Surface Anti-Air Missile – Extended Self Defence).

Gli **sviluppi tecnologici** in ambito della fotonica e dei componenti a microonde allo stato solido, combinati con architetture di processing allo stato dell'arte, hanno reso possibile la **progettazione di sensori AESA** a facce fisse dei quali il **DBR** è il prodotto di punta e sarà utilizzato nell'ambito del Piano Navale per equipaggiare i nuovi **pattugliatori di altura polivalenti** (PPA) fornendo prestazioni **più efficaci** contro una vasta classe di minacce come i **TBM**.



**Thank you for your attention**



# Distributed Static System IRST

Gianni Barani *Leonardo SpA, Divisione ETN Campi Bisenzio (FI)*



# SISTEMI IRST: RICHIESTE OPERATIVE

## Agire come RADAR panoramico per:

- Scoperta di missili sea-skimmer
- Scoperta di natanti in avvicinamento veloce
- Scoperta di bersagli aerei a bassa quota e a bassa segnatura
- Immagini ad alta qualità notte/giorno della situazione attorno alla nave
- Detection & Tracking «Silent mode» quando i Radar devono essere spenti

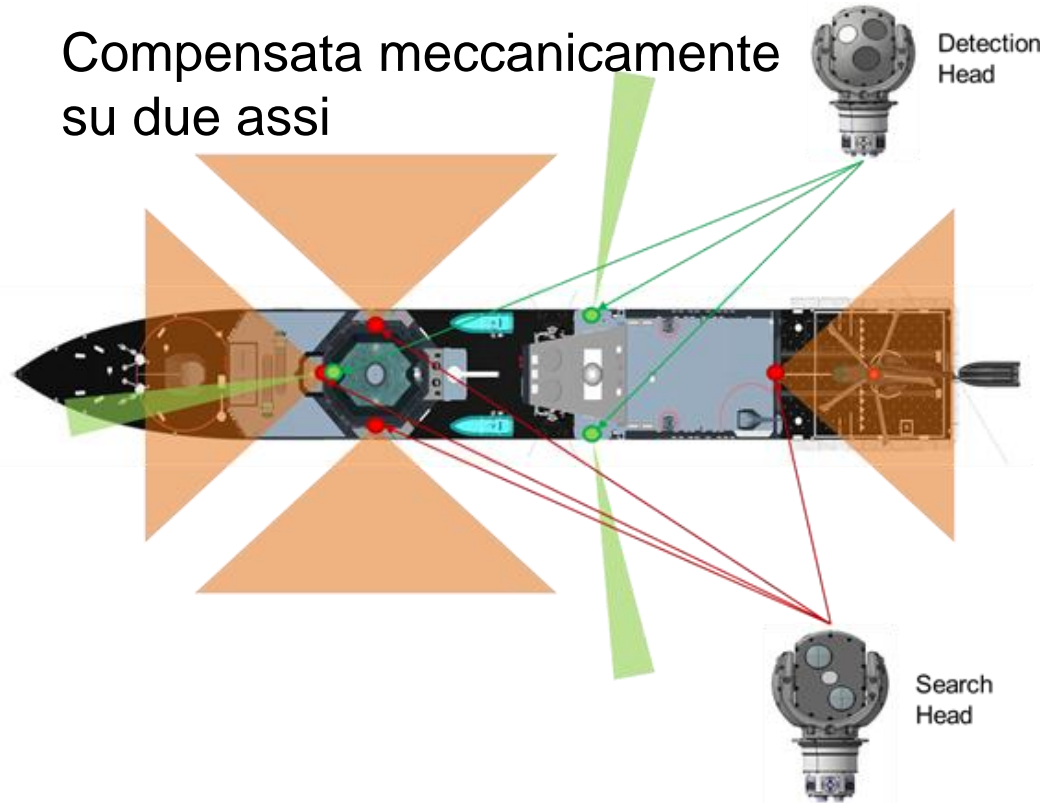
## IRST a sensori distribuiti

Vantaggi	Richieste tecnologiche
Si eliminano gli angoli ciechi	Necessarie installazioni compatibili con gli altri apparati nave
Utilizzo di più teste aumenta l'efficacia del sistema	Tolleranze di allineamento spinte
Possibile ranging passivo	
Grande campo di vista verticale garantito dalla dimensione dell'array (FPA)	Array di elevata omogeneità spaziale e stabilità
Alta frequenza di frame	Grande potenza di processing
Modularità garantisce migliore affidabilità	

# CONFIGURAZIONE INSTALLATIVA

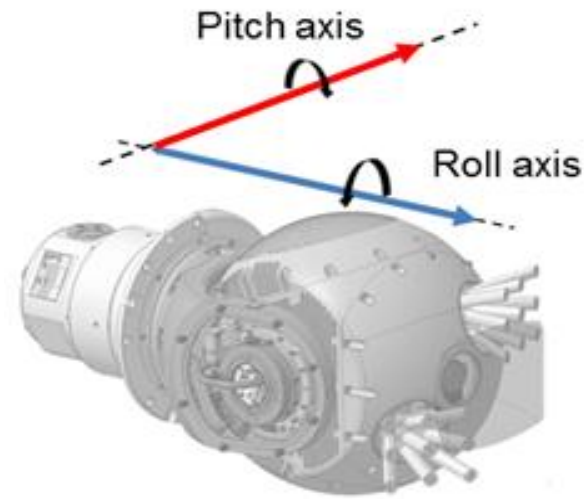
## Detection Head

Compensata meccanicamente  
su due assi

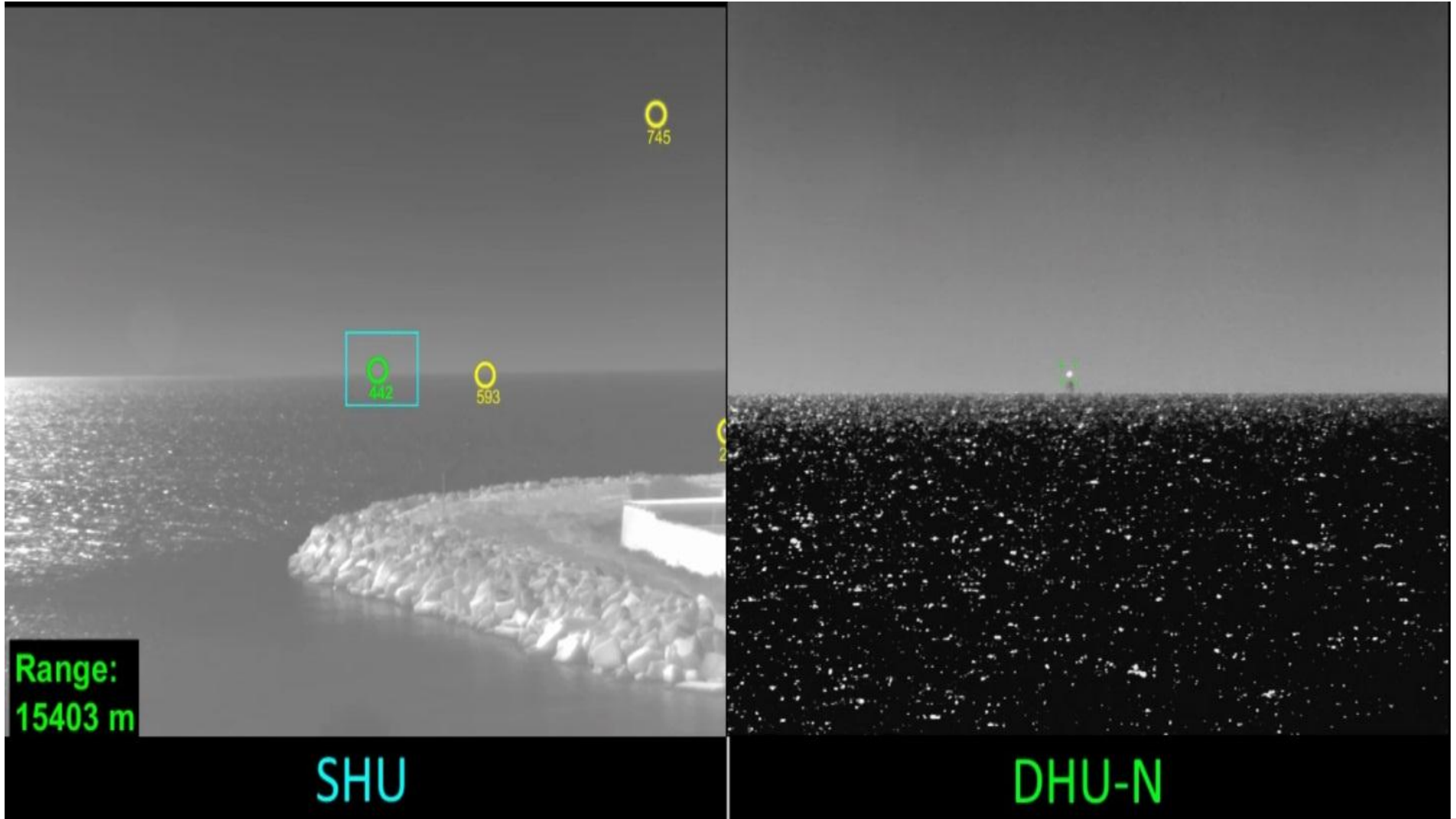


## Search Head

Roll & Pitch compensati  
meccanicamente  
Yaw compensato elettronicamente



# Sistema DSS-IRST



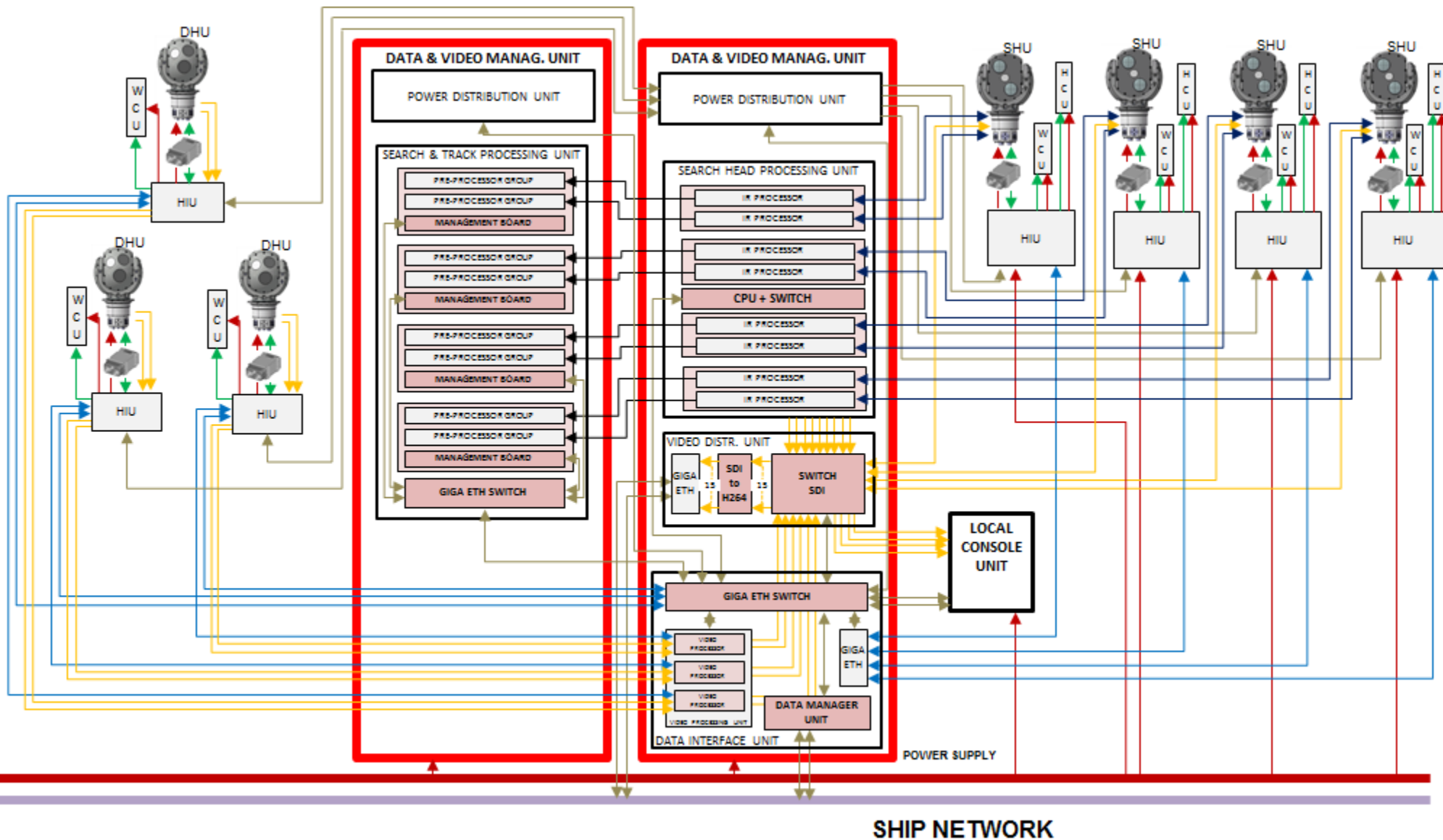
# DSS-IRST VERSO IRST A SCANSIONE

Funzione	DSS-IRST	IRST II° Generazione
Ranging attivo	Effettuato per mezzo dei Laser Range Finder (Nd:YAG eye safe 1570 nm) inseriti nei sensori DHU	Non prevista funzione di Ranging
Ranging passivo	Effettuato per mezzo dell'uso combinato dei sensori SHU e DHU su minaccia	
IR Search	Ricerca effettuata automaticamente sulla scena panoramica di $360^{\circ}_h \times >30^{\circ}_v$	Ricerca effettuata automaticamente sulla scena panoramica di $360^{\circ}_h \times 5/7^{\circ}_v$
IR Track	Effettuato automaticamente sulle immagini delle SHU con generazione di tracce con preclassificazione	Effettuato automaticamente sulle immagini LW e MW con generazione di tracce con preclassificazione
Modi operativi	Il sistema è adattabile agli scenari operativi: <ul style="list-style-type: none"> <li>• blue water,</li> <li>• littoral,</li> <li>• harbour/anchored</li> </ul>	Il sistema possiede solo lo scenario blue water

# DSS-IRST VERSO IRST a Scansione

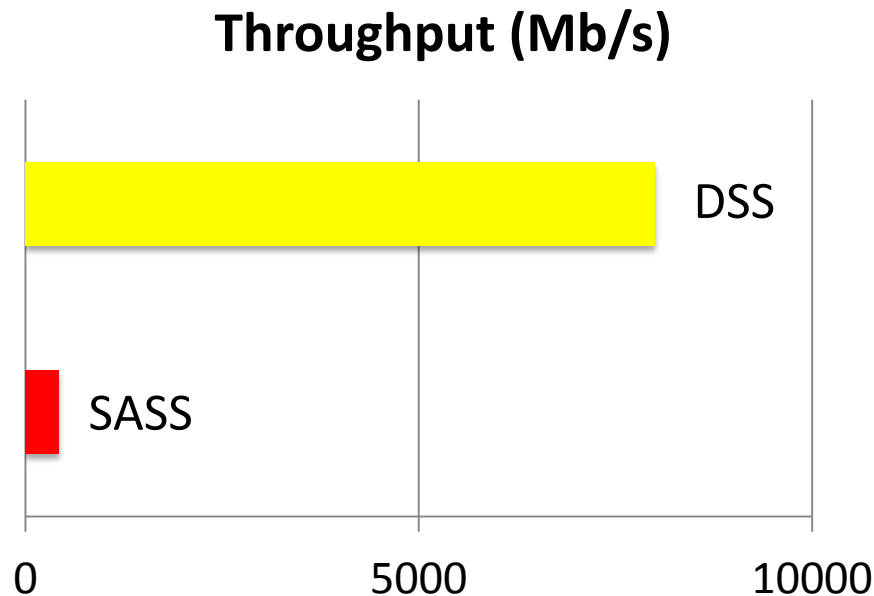
Funzione	DSS-IRST	IRST II° Generazione
<b>Visione panoramica/perimetrale</b>	IR: Otto sensori 1280×1024 <b>IFOV &lt; 1 mrad</b> Scan rate rate 50 Hz <b>Monospettrale</b> VISIBILE: 7 camere	1 LWIR 288 x 6 TDI 1 MWIR 288 x 6 TDI <b>IFOV &lt; 0.5 mrad</b> Scan rate rate 1/2 Hz <b>Bispettrale</b> No VISIBILE
<b>Visione settoriale</b>	Effettuata con 11 camere IR+ 7 camere Visibili	Nessuna Visione Settoriale
<b>Video Tracking</b>	Automatico fino a tre bersagli contemporanei (uno per sensore DHU). Designazione automatica da traccia SHU, da CMS o designazione manuale.	Automatico per un bersaglio o designazione manuale.
<b>Registrazione delle immagini</b>	Registrazione del video prodotto dai sensori DHU e SHU	Registrazione del video prodotto

# ARCHITETTURA DSS-IRST



## POTENZA DI PROCESSING

Rapporto fra DSS-IRST  
e SASS



throughput di ingresso di  
8000 Mb/s:

$$1280*1024*16*8*50$$

+

5 video full HD  
throughput di 3955 Mb/s:

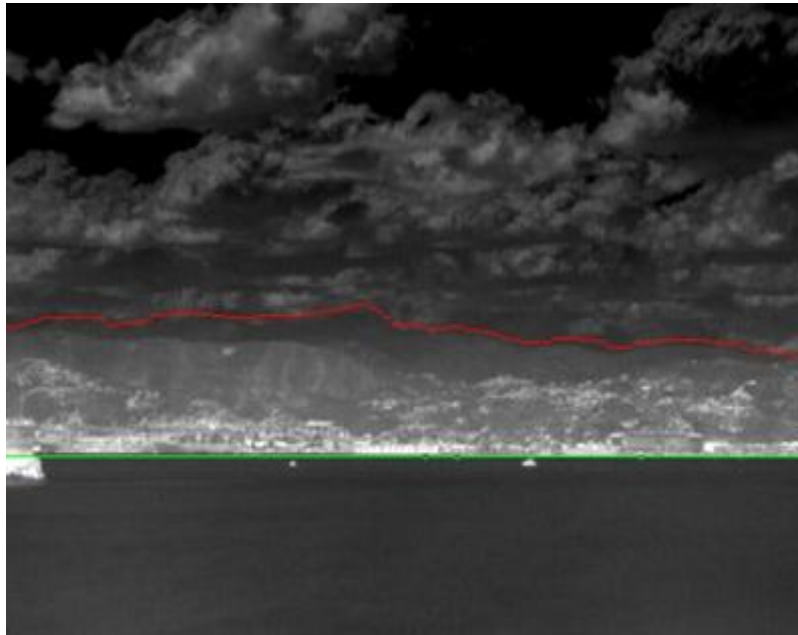
$$1920*1080*16*5*25$$

# ALGORITMI ADATTATI ALLO SCENARIO

- Blue water
  - Capacità di scoperta di target distanti e a bassa segnatura IR (sea-skimmers), mediante frame average/ algoritmi Track Before Detect
- Littoral
  - Capacità di scoperta nei confronti di bersagli veloci da breve distanza (missili da costa, jet sky, gommoni...), mediante alto frame rate (50 Hz)
- Anchorage/Harbour
  - Le Search Head sono poste in depressione ( $-20^{\circ}$ ) per controllo della situazione intorno alla nave

# ALGORITMI ADATTATI ALLO SCENARIO

- Mappe GPS in linea
  - Identificazione di zone di cielo, mare, costa
  - Algoritmi per separazione delle aree sull'immagine
  - Identificazione di specifiche aree di clutter

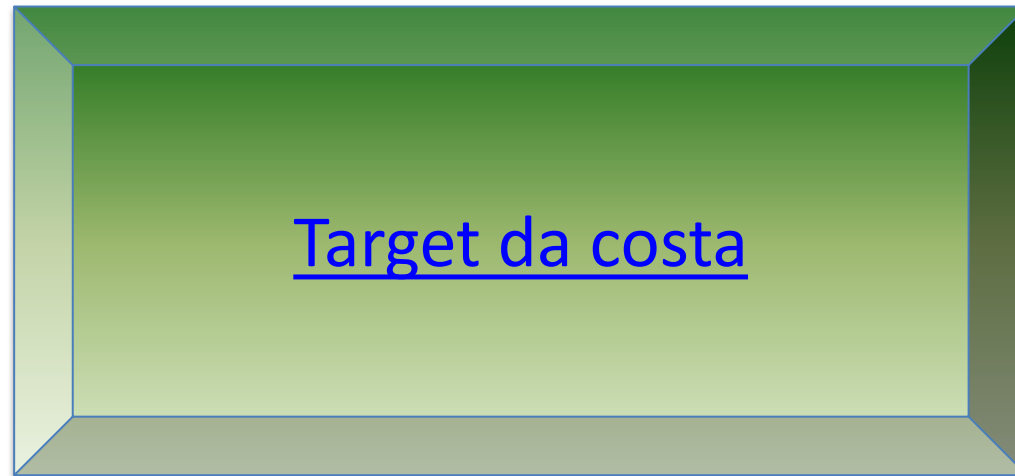


Adattamento ad aree specifiche:

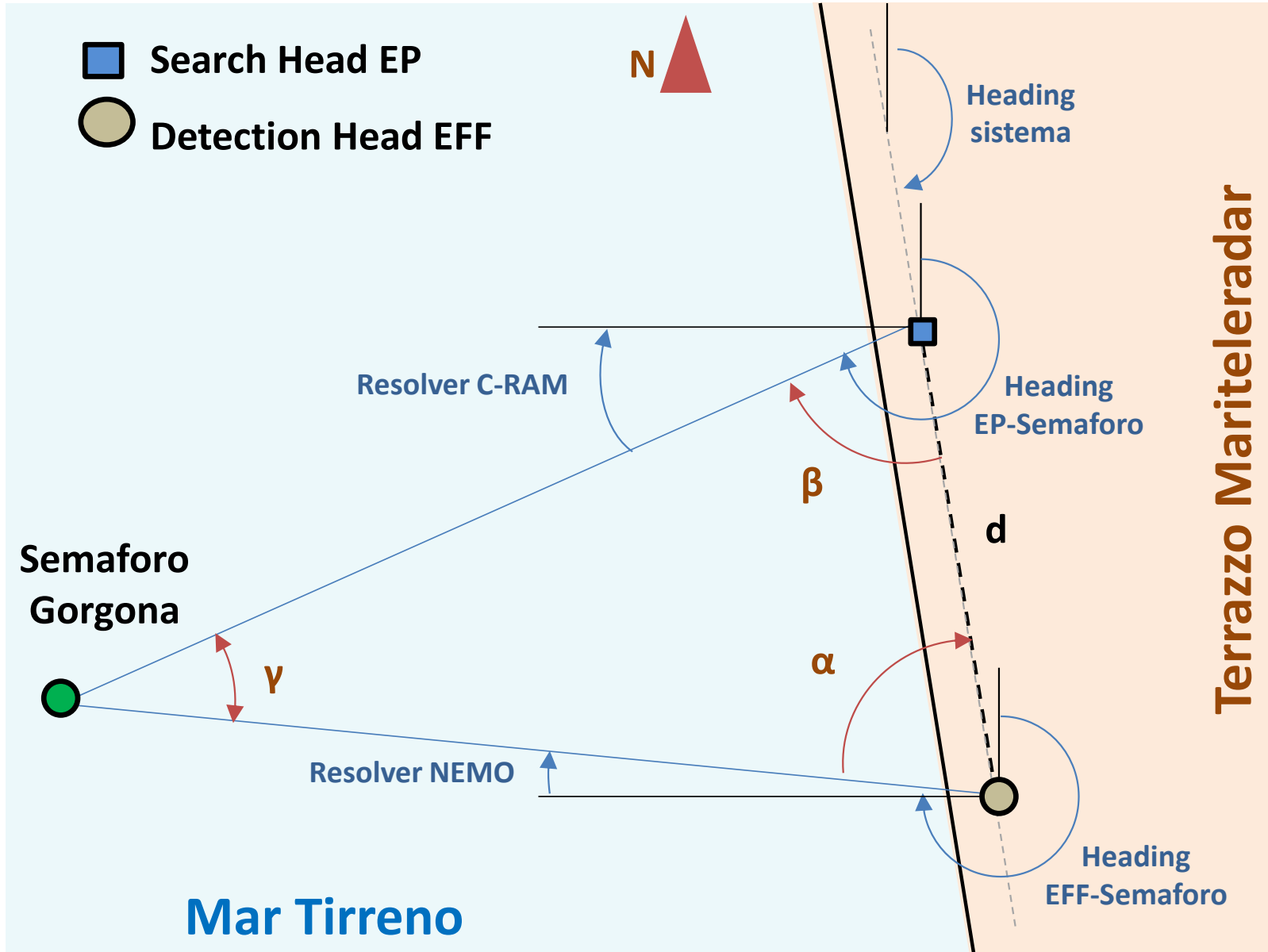
- Algoritmi di pre-processing
- Gestione dei Falsi allarmi

# ALGORITMI ADATTATI ALLO SCENARIO

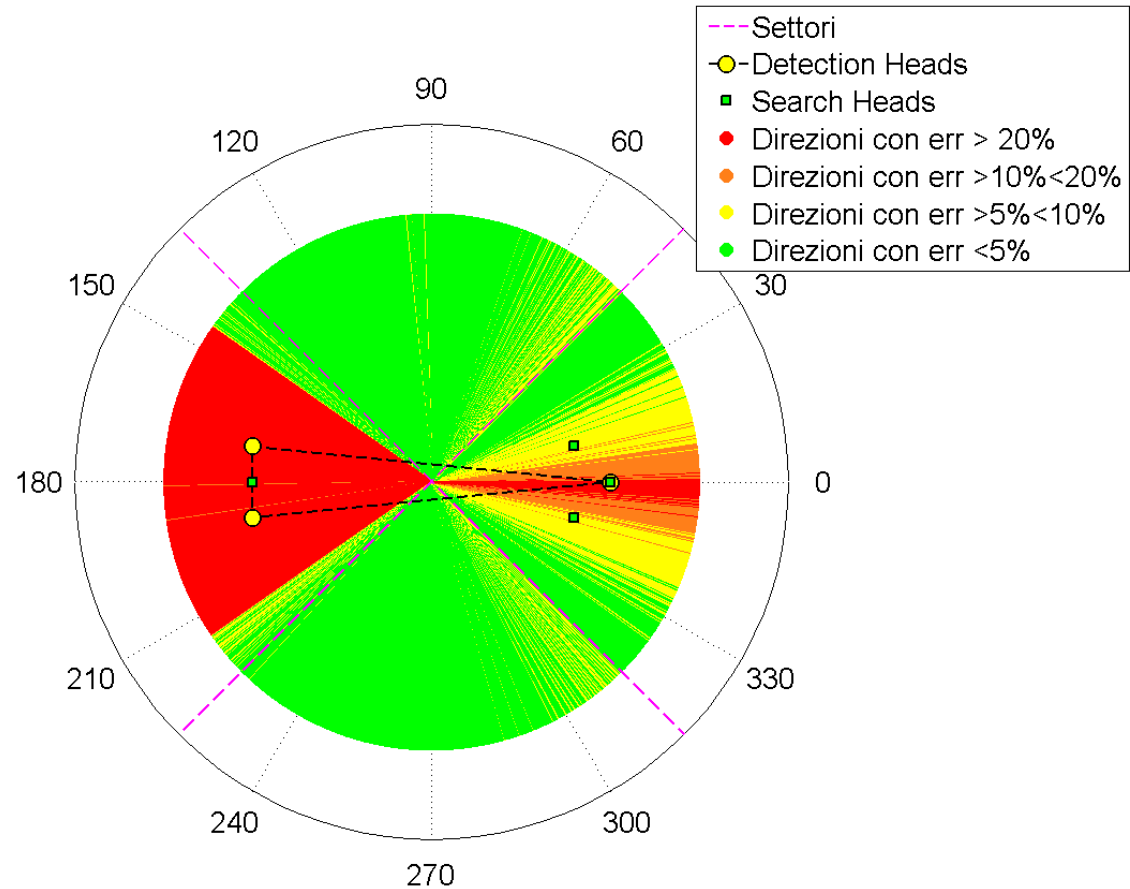
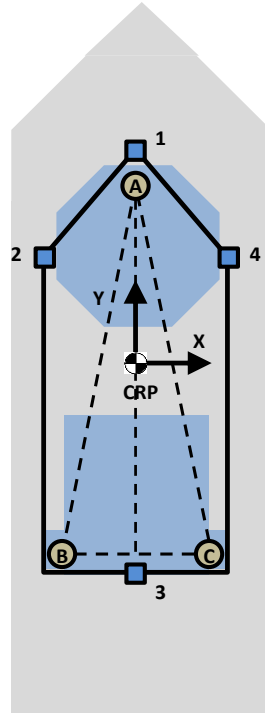
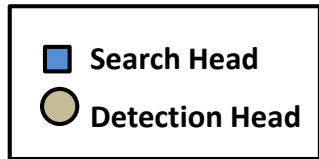
## LITTORAL



# RANGING PASSIVO

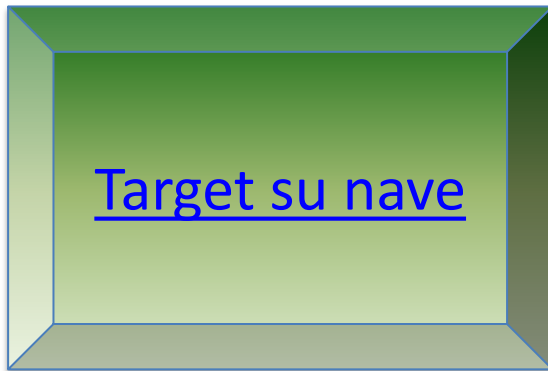


# RANGING PASSIVO

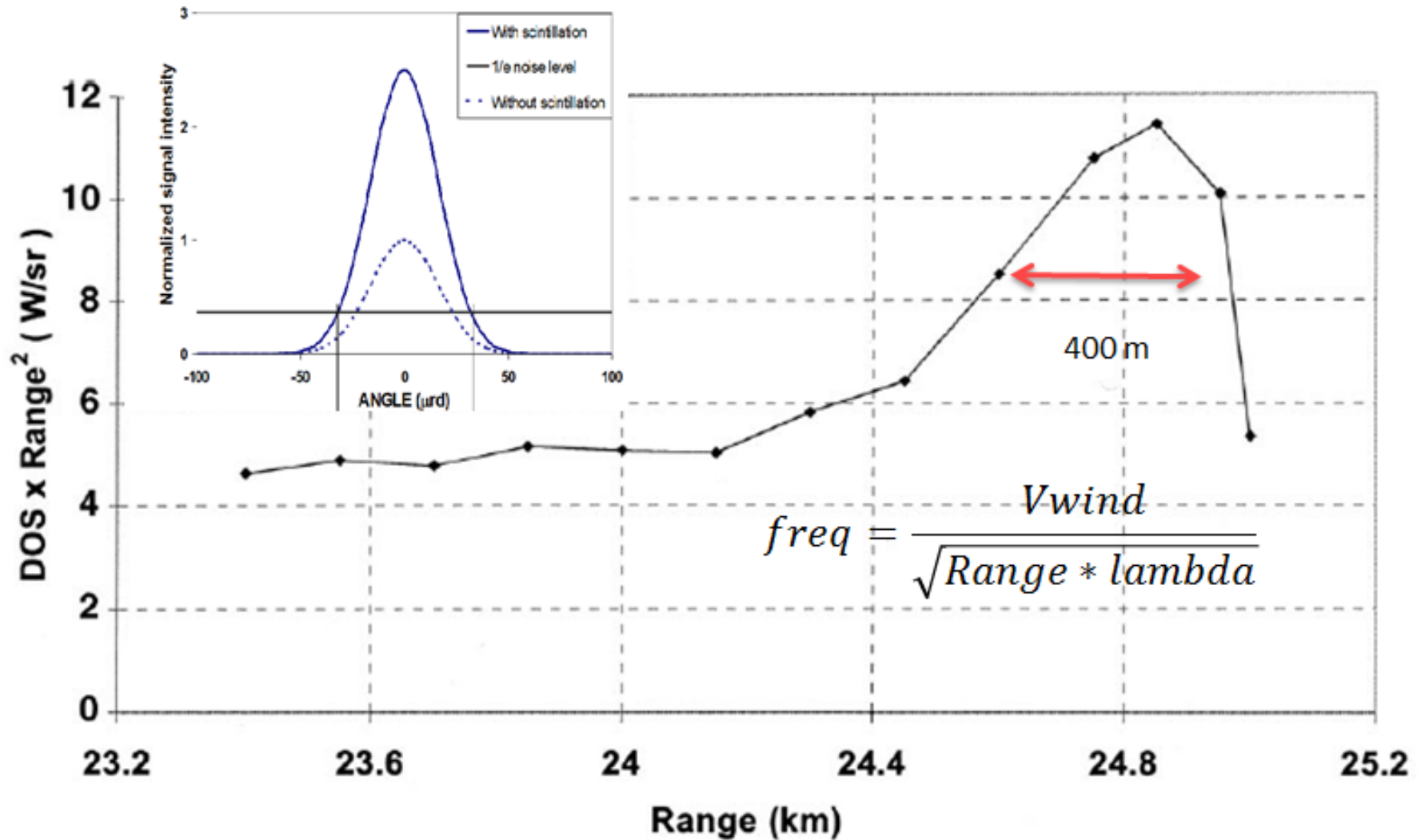


# ALGORITMI ADATTATI ALLO SCENARIO

## RANGING PASSIVO



# GUADAGNO D'INTENSITÀ PER UN POINT TARGET ALL'ORIZZONTE



## INTEGRAZIONE CON IL RADAR

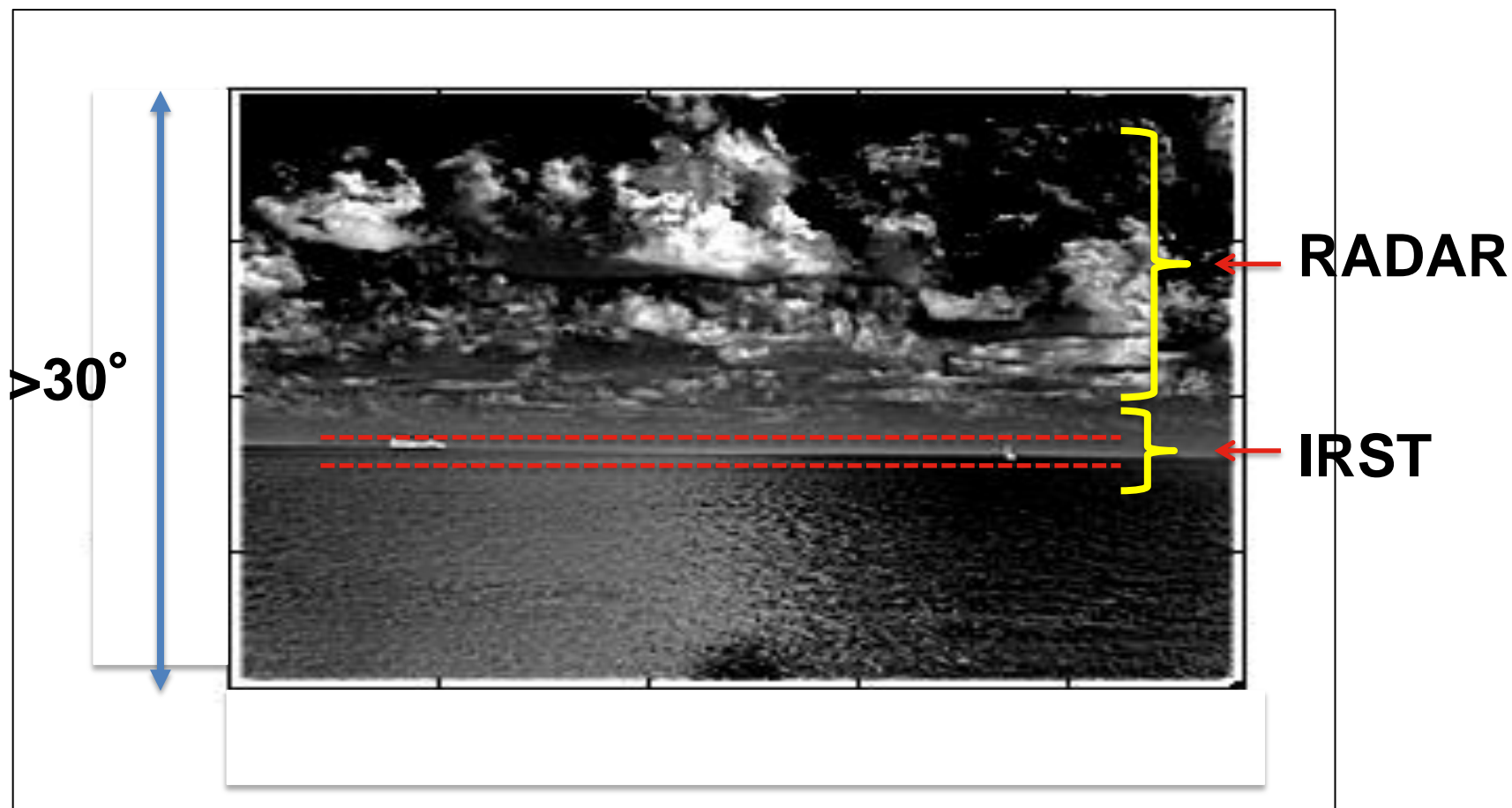
EO dipende dalle condizioni atmosferiche ma ha il vantaggio della:

precisione, discriminazione, antistealth, resistenza alle contro misure, qualità dell'immagine

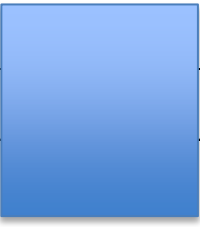
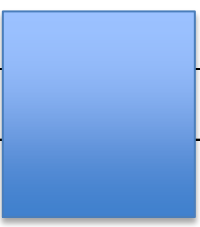
L'area di maggior sinergia è rappresentata dalla correlazione delle tracce usando quelle di uno per indirizzare l'altro

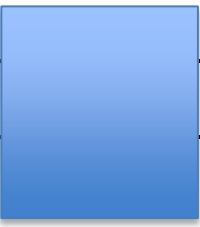
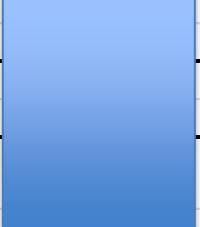
**Efficienza operativa di RADAR & EO è ben superiore a quanto ottenibile con un sistema basato solo sul RADAR**

# INTEGRAZIONE CON IL RADAR



# CONFRONTO CONTRASTO IRST/ RADAR

ESEMPIO PORTATE TEORICHE PER UN IRST in Banda M							
Tipo target	Portata in chiaro	Portata con pioggia 4 mm/hr	Contrasto su pioggia 4 mm/hr	Contrasto su Clutter di mare SeaState=1	Contrasto su Clutter di mare SeaState=5	Contrasto su litorale	Contrasto su nuvola
Missile (fronte) 0.35 W/sr			dati non consistenti	> 9 dB	> 9 dB	> 9 dB	< -1 dB
Aereo Caccia 10 W/sr			dati non consistenti	> 20 dB	> 20 dB	> 20 dB	< 12 dB
Piccola imbarcazione 1.25 W/sr			dati non consistenti	> 14 dB	> 14 dB	> 13 dB	

ESEMPIO PORTATE TEORICHE PER UN RADAR DI SORVEGLIANZA /SCOPERTA in Banda X							
Tipo target	Portata in chiaro	Portata con pioggia 4 mm/hr	Contrasto su pioggia 4 mm/hr	Contrasto su Clutter di mare SeaState=1	Contrasto su Clutter di mare SeaState=5	Contrasto su litorale $\sigma_{rcs} = 2000 m^2$	Contrasto su nuvola
Missile RCS = 0.5 m <sup>2</sup>			< -5 dB pol. Lin > 5 dB pol. Circ	> 25 dB	> 8 dB	< -35 dB	> 20 dB (TBV)
Aereo Caccia RCS = 2 m <sup>2</sup>			< 0 dB pol. Lin 7 dB pol. Circ.	> 40 dB	> 20 dB	< -25 dB	> 20 dB (TBV)
Piccola imbarcazione RCS = 5 m <sup>2</sup>			≈ 0 dB pol. Lin 10 dB pol. Circ.	> 50 dB	> 35 dB	< -20 dB	> 20 dB (TBV)

## RAPPRESENTAZIONE DELLE IMMAGINI

- Ogni camera della SH copre un FOV  $45^\circ \times >30^\circ$  con una escursione (FOR) da  $-20^\circ$  a  $+70^\circ$
- Angoli di vista di così grandi  $45^\circ$  richiedono analisi per la scelta del tipo di rappresentazione
- Operazioni sui valori di intensità dei pixel da presentare a schermo:
  - Ricampionamento
  - Equalizzazione
  - Blending

# RAPPRESENTAZIONE CILINDRICA



$$x_p = k \alpha$$
$$y_p = k \tan(\delta)$$

# RAPPRESENTAZIONE RETTILINEA



$$x_p = f \tan(\alpha)$$

$$y_p = f \frac{\tan(\delta)}{\cos(\alpha)}$$

# IMMAGINE FULL HD A 360°



# POSSIBILE INTERFACCIA UTENTE



## CONCLUSIONI

- Il DSS-IRST è un sistema distribuito che supera i limiti installativi dei sistemi a scansione
- E' un sistema modulare che permette l'uso di algoritmi adattati allo scenario
- L'utilizzo di teste ottiche distribuite permette di effettuare il ranging passivo
- L'uso di FPA ad elevato numero di pixel permette di ottenere immagini full HD

THANK YOU FOR YOUR ATTENTION



# PROPAGAZIONE IN AMBIENTE MARINO

- ESTINZIONE
- **BLUR**
- **BEAM WANDERING**
- **SCINTILLAZIONE**



TURBOLENZA



ASTD

# EFFETTI DELLA ASTD

ASTD =  $-10^{\circ}\text{C}$

ASTD =  $0^{\circ}\text{C}$

ASTD =  $+10^{\circ}\text{C}$

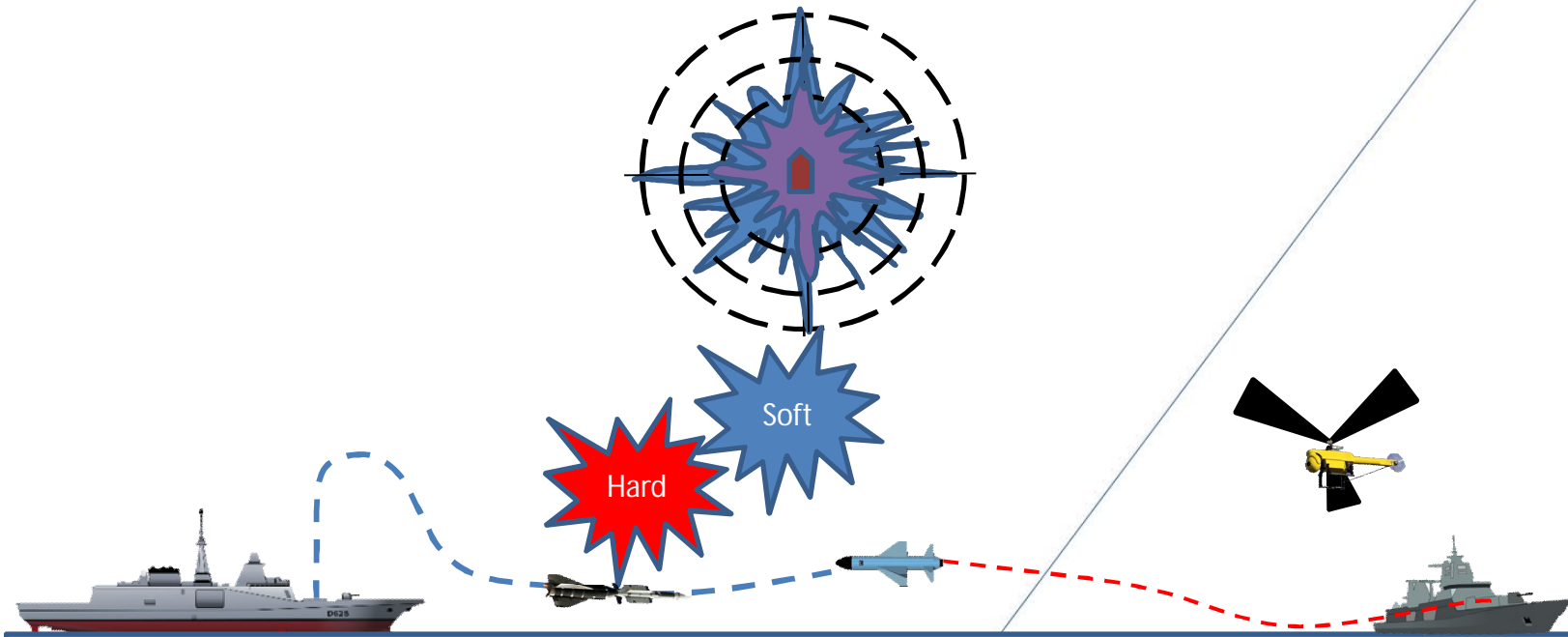


20 km

$2 \times 1.5^{\circ}$

- ➔ Apparition of mirage (ASTD  $< 0^{\circ}\text{C}$ )
- ➔ Compression of target image (ASTD growing)
- ➔ Variation of optical horizon
- ➔ Limitation of the target detected form (ASTD  $< 0^{\circ}\text{C}$ )

# The Defence of the Naval Unit through the best trade-off fra RCS, Soft e Hard Kill



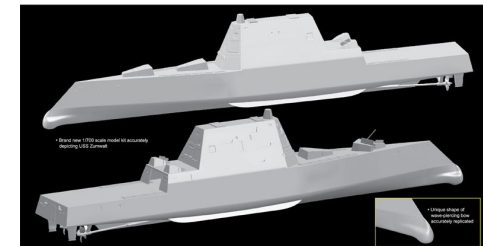
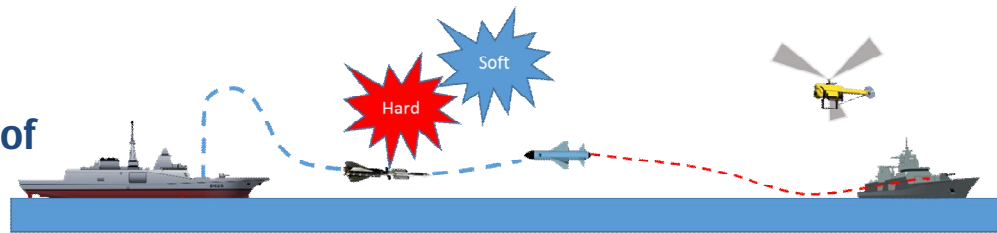
**PROPRIETARY NOTICE**

The information contained in this document is the property of ELETTRONICA S.p.A. Use of this information is limited to that for which it is supplied and may not be disclosed to any Third Party without the express written permission of ELETTRONICA S.p.A..

# Purpose of the analysis

UNCLASSIFIED

- to suggest a methodology to find a reasonable compromise among RCS reduction, Soft Kill enhancement and hard kill availability, so that:
- an acceptable effectiveness immunity of the warship from missile attacks is obtained
- the RCS reduction feasibility using well proven reduction methods (Shaping and Radar Absorbing Materials) is assured
- the costs to be sustained to reduce radar signature is "reasonable" respect to the total ship costs



# Platform Immunity: the US point of view

UNCLASSIFIED

- FIRST      Not to be seen      (i.e. detected by the opponent weapon system)
- SECOND    Not to be tracked    (i.e. classified, identified, tracked by the opponent weapon system)
- THIRD     Not to be engaged    (i.e. detected, discriminated, tracked by the launched weapon)
- FOURTH   Not to be hit
- FIFTH ←   Not to be damaged

Not taken into account



# Susceptibility and Immunity

UNCLASSIFIED

$$P_H = P_D \times P_{T/D} \times P_{L/T} \times P_{H/L}$$

Where

- $P_D$  is the probability that the vessel is discovered
- $P_{T/D}$  is the probability that the vessel is tracked and identified once discovered
- $P_{L/T}$  is the probability the threat weapon is in lock on the vessel once identified
- $P_{H/L}$  is the probability the vessel is hit once locked

$P_{NH}$  is the vessel **Immunity** i.e. the Probability the vessel is not hit

$$P_{NH} = 1 - P_H$$

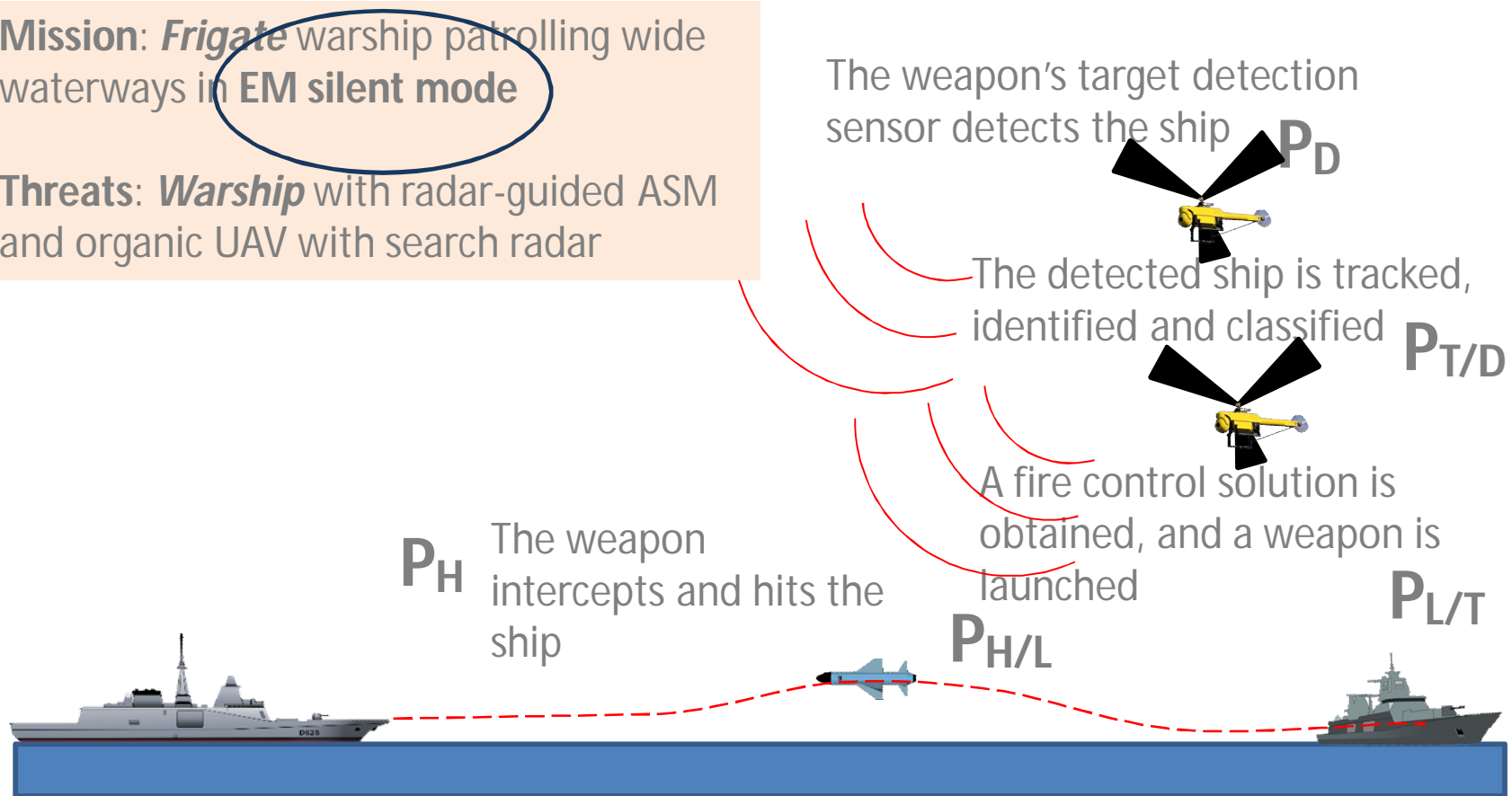
[1] "NAVAL SURVIVABILITY AND SUSCEPTIBILITY REDUCTION STUDY—SURFACE SHIP"  
Steven Loke Yew Kok \_Naval Postgraduate School \_ September 2012

# Referred scenario

UNCLASSIFIED

Mission: *Frigate* warship patrolling wide waterways in **EM silent mode**

Threats: *Warship* with radar-guided ASM and organic UAV with search radar



$$P_H = P_D \times P_{T/D} \times P_{L/T} \times P_{H/L}$$

# Killability Reduction = Susceptibility Reduction

UNCLASSIFIED

Reduction of P <sub>H</sub>	Signature	Soft-Kill	Hard-Kill
Reduction of threat Detection Range	X		
Reduction of Probability of Acquisition	X	X	
Reduction of Launch Probability	X	X	
Increasing Threat Warning		X	
Increasing Threat Suppression		X	X
Threat effectiveness reduction/minimization	X	X	

Not taken into account

Signature = cross section (passive) + on board transmissions (active)

Soft-Kill= manouvers + EW (on-board, off-board)

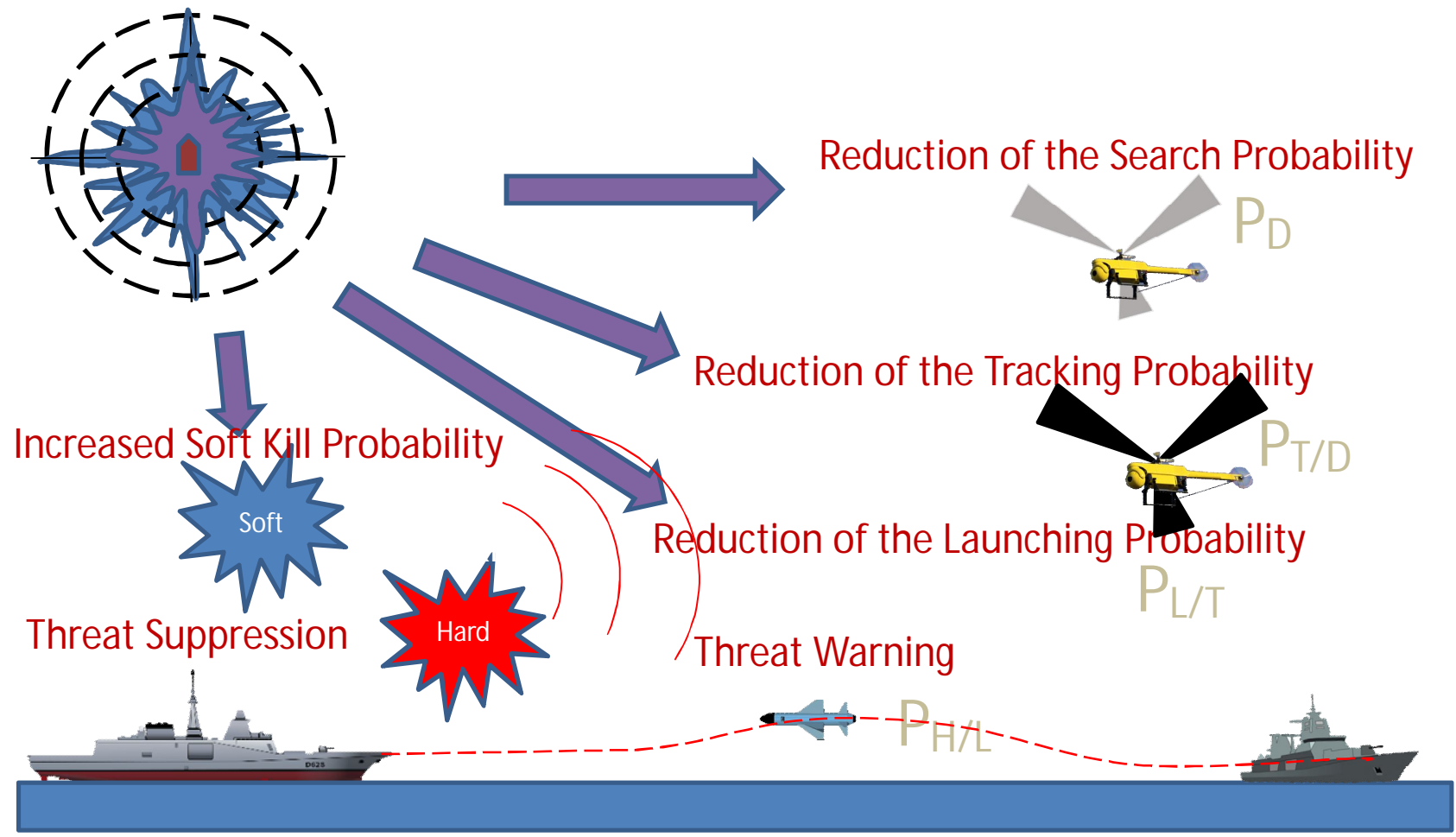
Among all the ship "signatures" (radar, IR, EO, magnetic, acoustic), only the Radar-Cross-Section will be consider hereafter.

Similar analysis can be performed for the other cases.



# Susceptibility Reduction

UNCLASSIFIED



# Ship RCS Table

UNCLASSIFIED

Target Ship			Median radar cross section of target vessel, m <sup>2</sup>								
Type	Overall length (m)	Gross tonnage	10	100	1,000	10,000	100,000	1,000,000	10,000,000	approx. min. RCS	approx. max. RCS
Inshore fishing vessel	9	5	■							3	10
Small coaster	40-46	200-250		■						20	800
Coaster	55	500		■						40	2,000
Coaster	55	500			■					300	4,000
Coaster	57	500			■					1,000	16,000
Large Coaster	67	836-1,000			■					1,000	5,000
Collier	73	1,570			■					300	2,000
[Redacted Row]											
Cargo liner	114	5,000				■				10,000	16,000
Cargo liner	137	8,000				■				4,000	16,000
Bulk carrier	167	8,200			■					400	10,000
Cargo	153	9,400			■					1,600	12,500
Cargo	166	10,430			■					400	16,000
Bulk carrier	198	15,000-20,000			■					1,000	32,000
Ore carrier	206	25,400			■					2,000	25,000
Container carrier	212	26,436**			■					10,000	80,000
Medium tanker	213-229	30,000-35,000			■					5,000	80,000
Medium tanker	251	44,700			■					16,000	1,600,000

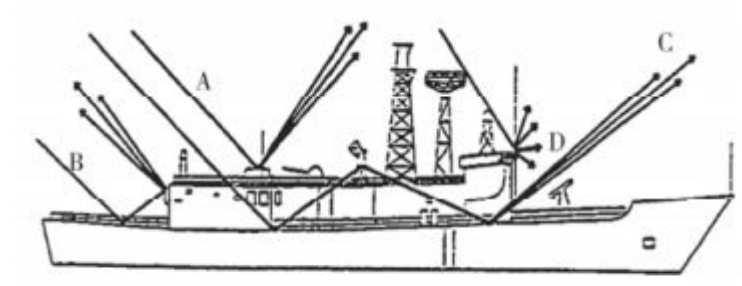
\* Displacement  
 \*\* Considerable deck cargo

S = stern on  
 Q = quarter  
 B = broadside  
 BW = bow  
 BWO = bow on  
 n = near



# RCS reduction methods

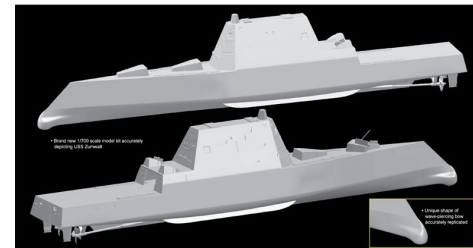
UNCLASSIFIED



A = Single reflection      B = Double reflection  
C = Triple reflection      D = Edge diffraction

Main scattering mechanisms on naval ships

## Management of Shaping

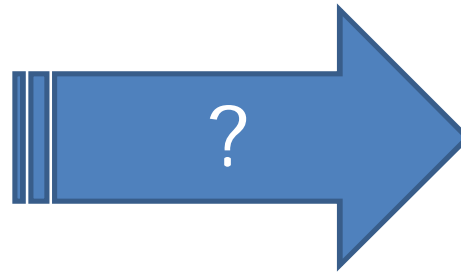


## RAM (Radar Absorbing Material)



# Management of Shaping

UNCLASSIFIED



The question is: how much stealth is convenient to reach through management of shape ?

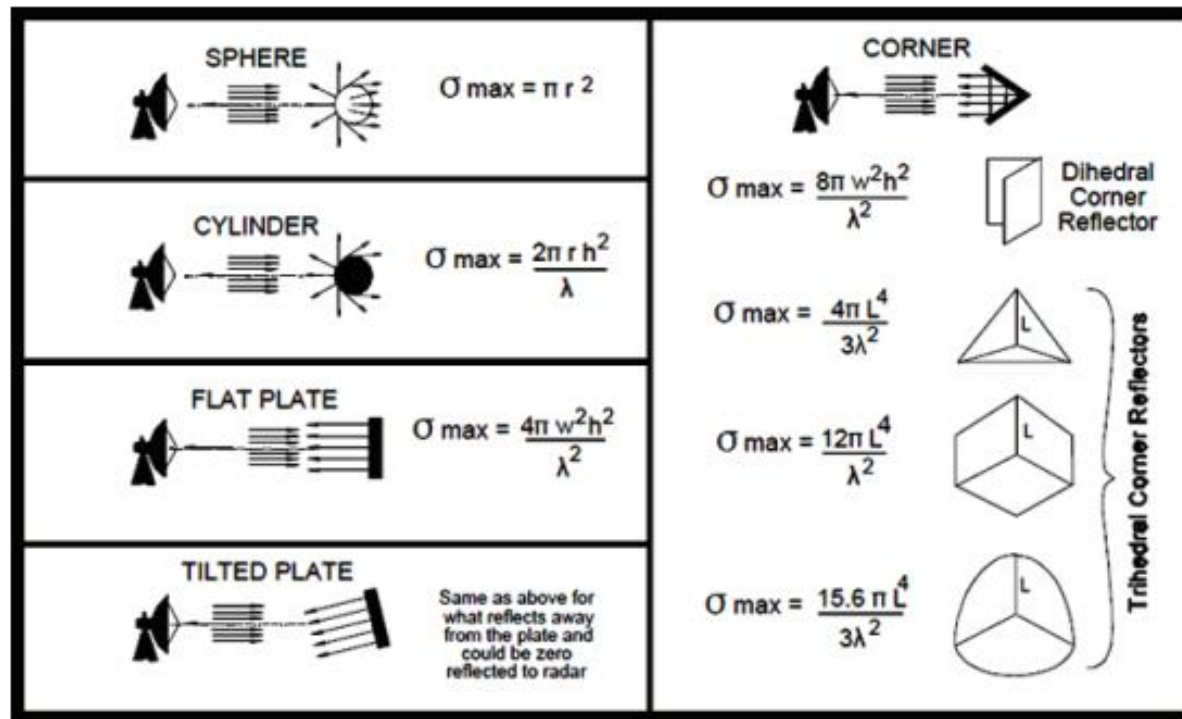
Facts to be considered:

- Sensors require surface
- Weapons require room
- The ship has to accomplish its own mission using both the above systems

For these reasons, the management of shape can contribute to the overall RCS reduction up to 15 dB (average datum, experienced).

# RAM (Radar Absorbing Material) and RCS Reduction [1]

UNCLASSIFIED

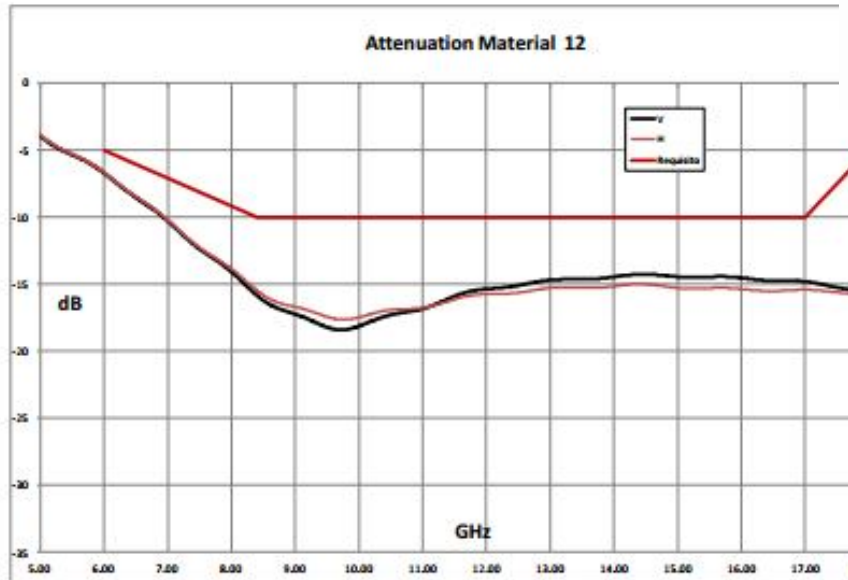


$$\sigma_{max} = \frac{4\pi A^2}{\lambda^2}$$

Quadratic dependence between A and  $\sigma_{max}$

# RAM (Radar Absorbing Material) and RCS Reduction [2]

UNCLASSIFIED



Nuova CONNAVI s.r.l.



N.B.

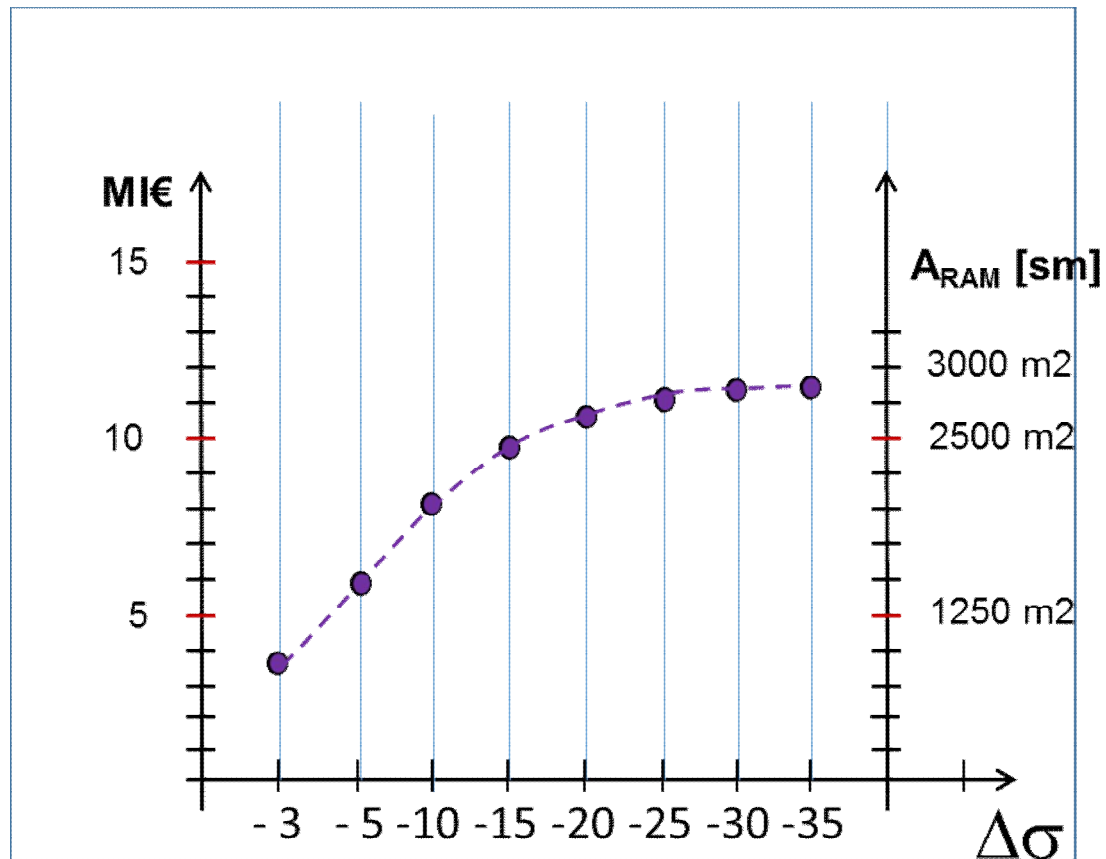
Nuova Connavi certifica che gli stessi pannelli sono stati consegnati a MARITELERADAR il quale ci ha comunicato verbalmente di avere ottenuto le medesime attenuazioni contenute nel presente documento.

- Cost per square meter (installed) = 4.000 €/m<sup>2</sup>
- Weight per square meter  $\cong$  6 Kg

Certificato da Mariteleradar nel IV° trimestre 2014

# RAM Costs and Area covered vs. $\Delta\sigma$

UNCLASSIFIED



Total Area of the Frigate  
~3000 m<sup>2</sup>

$$\sigma_{max} = \frac{4\pi A^2}{\lambda^2}$$

Quadratic dependence between A and  $\sigma_{max}$

# Reduction of threat Detection Range

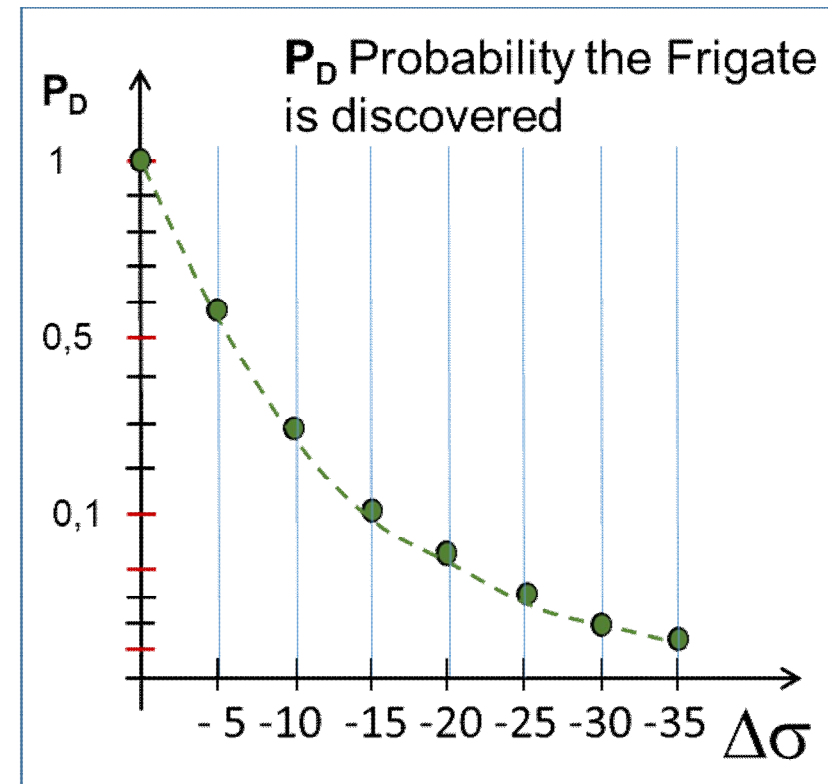
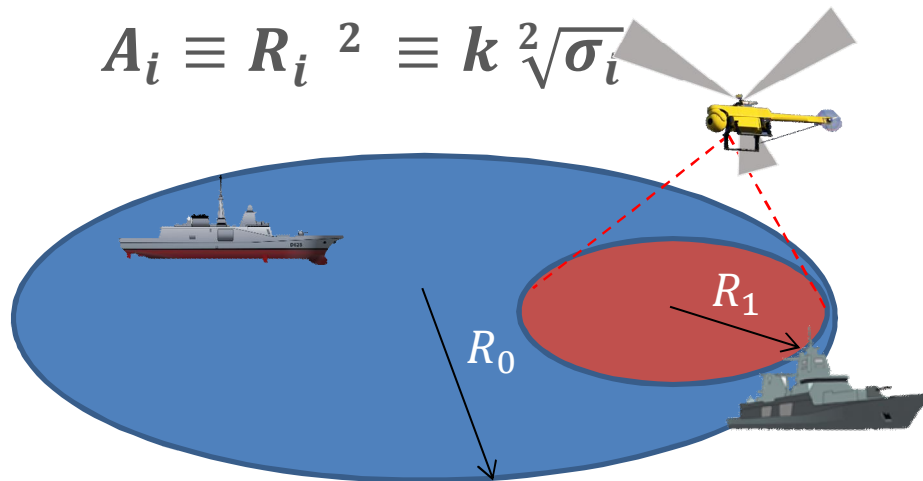
UNCLASSIFIED

The Radar Range is dependent on RCS according to:

$$R = \mu \sqrt[4]{\sigma}$$

The Threat Search Radar at constant pulse  $P_d$  and  $P_{fa}$  has a Search Area proportional to:

$$A_i \equiv R_i^2 \equiv k \sqrt{\sigma_i}$$



# Reduction of Probability of Acquisition and Launch Probability

UNCLASSIFIED

As we have supposed the detection Range at constant  $P_d$  and  $P_{fa}$ , the Probability of Acquisition and the Launch Probability are assumed constant:

$$P_{T/D} = 0,9$$

And

$$P_{L/T} = 0,9$$

The degradation of Tracking and Lock-on are considered in the Soft Kill probability of the Frigate reaction

# Increasing Threat Warning

UNCLASSIFIED

**Threat warning (in silent mode, i.e. using Electronic Support Measures) is the stronger mean to:**

- **Enhance the readiness of the crew and the own defence system**
- **Allow a more convenient manoeuvre**
- **Reduce the overall reaction time vs. attacks**

# Threat Warning and Threat Suppression (Hard & Soft Kill)

UNCLASSIFIED

The threat suppression by the Hard Kill is not dependent on its RCS.  
A typical Hard Kill probability  $P_{hk} = 0.8$  is assumed

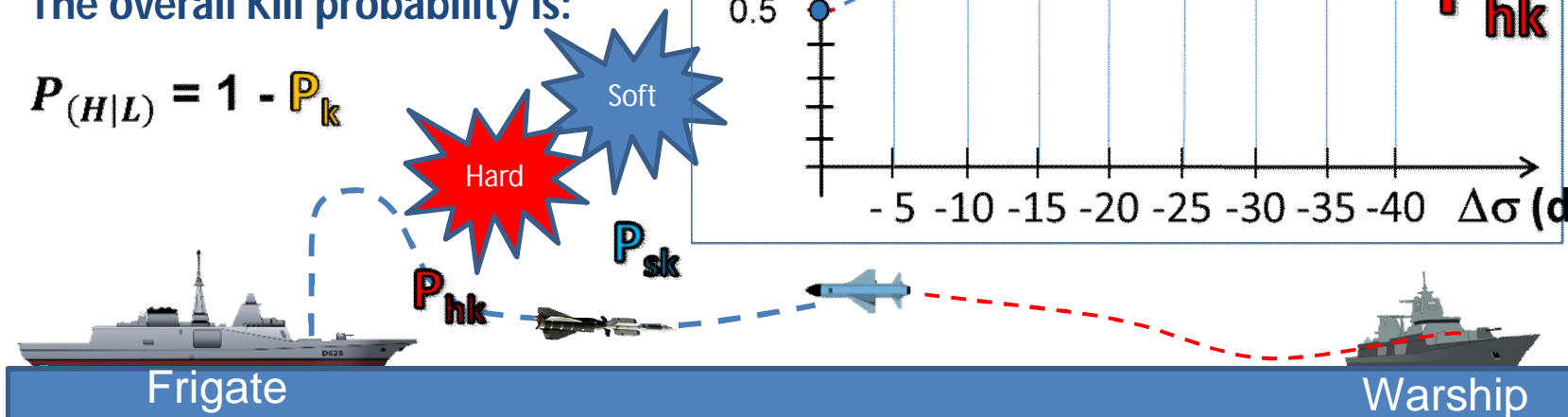
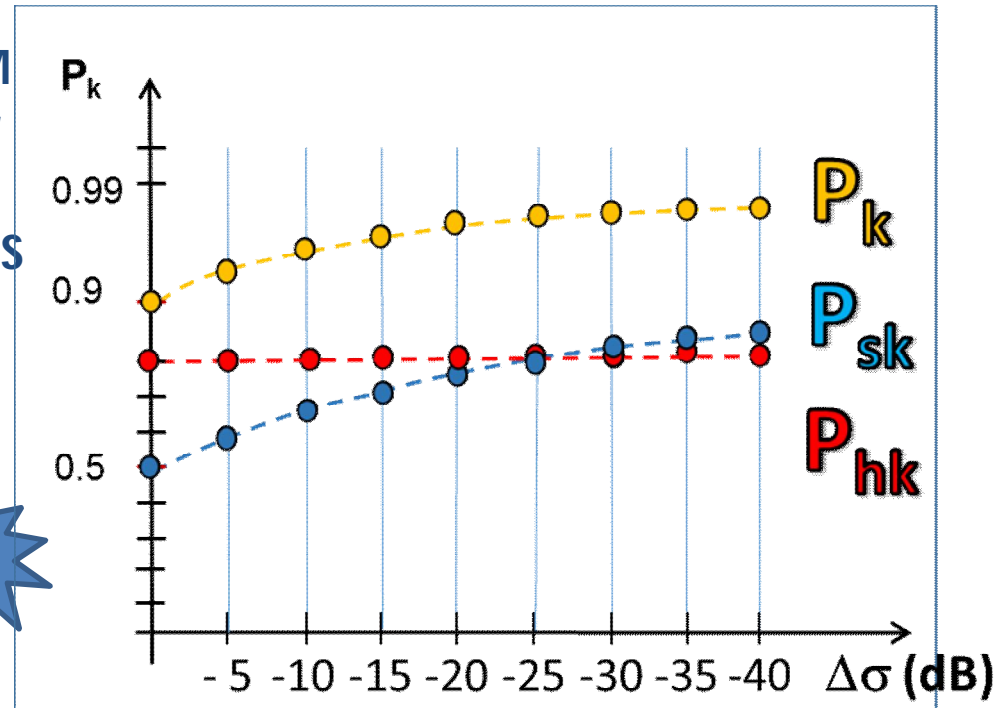
Threat Warning is obtained by ESM Radar Warning function and Laser Warning function.

Soft Kill probability depends on RCS

$$P_k = P_{hk} + (1 - P_{hk}) P_{sk}$$

















The overall Kill probability is:

$$P_{(H|L)} = 1 - P_k$$



# Soft Kill vs. Hard Kill

UNCLASSIFIED

	Soft-Kill	Hard-Kill
Survivability in saturating attacks	 (*)	
Reaction time		
Complexity of planning		
Complexity of kill assessment		
Interoperability inside the vessel		
Risks of collateral damages		
Availability		
Life cycle cost		

(\*) in case of multiple lines of tracking



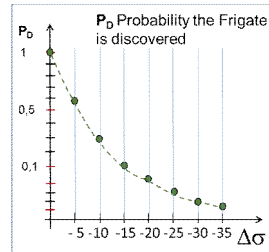
# Immunity $P_{NH}$ vs. $\Delta\sigma$

UNCLASSIFIED

$$P_{NH} = 1 - P_D \times P_{T/D} \times P_{L/T} \times P_{H/L}$$

Every term of the  $P_{NH}$  equation has been computed :

$P_D \rightarrow$



$P_{T/D} \rightarrow$

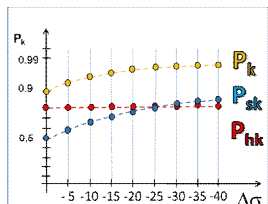
$P_{T/D} = 0,9$

And

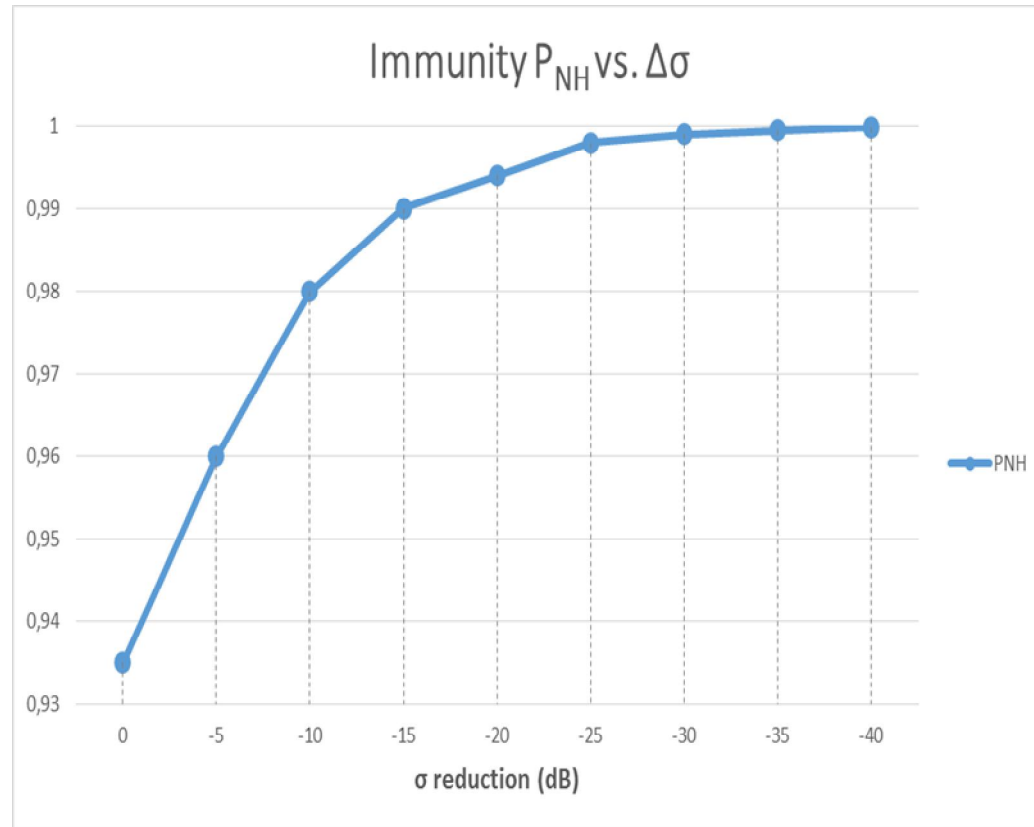
$P_{L/T} \rightarrow$

$P_{L/T} = 0,9$

$P_{H/L} \rightarrow$

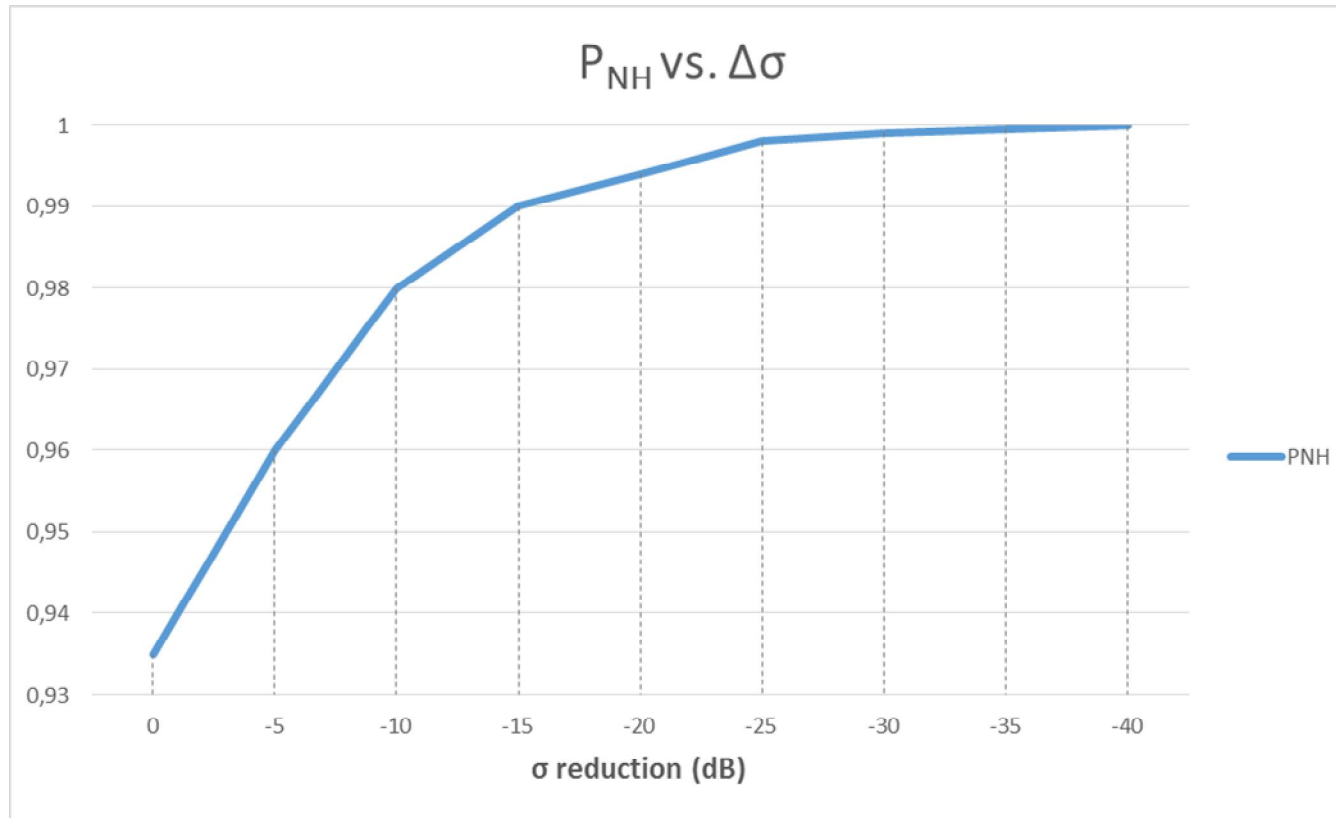


$$P_{(H|L)} = 1 - P_k$$



# Immunity $P_{NH}$ vs. $\Delta\sigma$

UNCLASSIFIED



[2] "SYSTEMS ENGINEERING PRINCIPLES AND PRACTICE": Alexander Kossiakoff and others. JOHN WILEY & SONS, INC. PUBLICATION

# Conclusions and Recommendations [1]

UNCLASSIFIED

Even under severe simplification (conservative) conditions, this preliminary analysis confirms that the survivability of the Frigate depends on a proper combination of signature, soft-kill and hard-kill.

This combination, even if «a priori» calculated, has to be managed **dynamically** (and in **integrated** way) along the engagement phases.

This preliminary analysis indicates that an optimal choice in terms of RCS reduction between -10dB and -15dB guarantees the best trade-off immunity vs. costs.

# Conclusions and Recommendations [2]

UNCLASSIFIED

All these considerations are made in case of a **SINGLE MISSILE ATTACK**.

In case of multiple missiles attack both the hard kill defense and the soft kill one are penalized:

- the previous one for the number of defensive missiles to be launched (that is a limited number)
- the former by the mechanic line of sight that is not able to manage more than one threat at a time, **unless an AESA based EW is used**.

*Active Electronically Steerable Array (AESA) is an antenna that shifts direction and function by modifying its signal using software algorithms, rather than physically moving.*

*It is able to produce a number of simultaneous beams in different directions and frequencies instead of only one (several contemporary lines of sight), giving the possibility to counter also multiple missiles attack.*

The need to migrate from a mechanically steered antenna to an electronically steered system was the main reason why the **US Navy awarded Raytheon the contract for SEWIP program (>290M\$)** [ref. Journal of Electronic Defence Jan.2015]

Horizon Frigates, FREMM Frigates and Cavour Aircraft Carrier are already equipped with this solution.

**Same solution will be on board of next generation Italian vessels.**

# **Virtualabs**

**Innovazione nella Difesa Elettronica**

## **NEC**

# **Naval Electronic Chaff**

La segnatura Radar ed Elettrottica delle moderne Unità Navali  
Valenza, Metodi per il controllo e Sviluppi Tecnologici  
CISAM - Pisa, 31 Maggio 2017  
Centenario Istituto G.Vallauri – Livorno, 1 Giugno 2017

Relatore : Candidoro Giannicchi  
candidoro.giannicchi@virtualabs.it

# Chaff: un sistema di difesa “Cost-Effective”

- Nel passato, prima dell’avvento dei moderni sistemi EW e prima dello spiegamento di moderni missili antinave, la difesa navale contro l’attacco missilistico mediante le Chaff convenzionali ha avuto un ruolo importante.
- Sia le tecniche dette di “**Distrazione**” e “**Confusione**” (Chaff lanciate per creare falsi bersagli mentre il seeker del missile è ancora in fase di ricerca) che quella di “**Seduazione**” (chaff con lo scopo di sedurre il Range Gate del seeker nell’ultima fase di volo) hanno mostrato un **buon rapporto costo-efficacia** e hanno quindi ricevuto la fiducia delle varie Marine Militari
- Questo è stato **utile per la difesa** di piccole navi, generalmente non dotate di costosi mezzi di difesa, sia soft che hard kill e comunque **solo in certe condizioni favorevoli di direzione della nave e del vento**

# Evoluzione dei seekers RF

- I moderni missili antinave, a seeker RF, utilizzano tecniche che possono mettere in crisi sia i sistemi EW che le Chaff tradizionali
- In particolare:
  - Il processing digitale evoluto consente ai **seekers di discriminare i segnali generati da chaff** da quelli generati dal bersaglio
  - La tecnica di **Leading Edge ed impulsi brevi** vanificano la tecnica di Seduzione sia mediante chaff che ECM.



harpoon

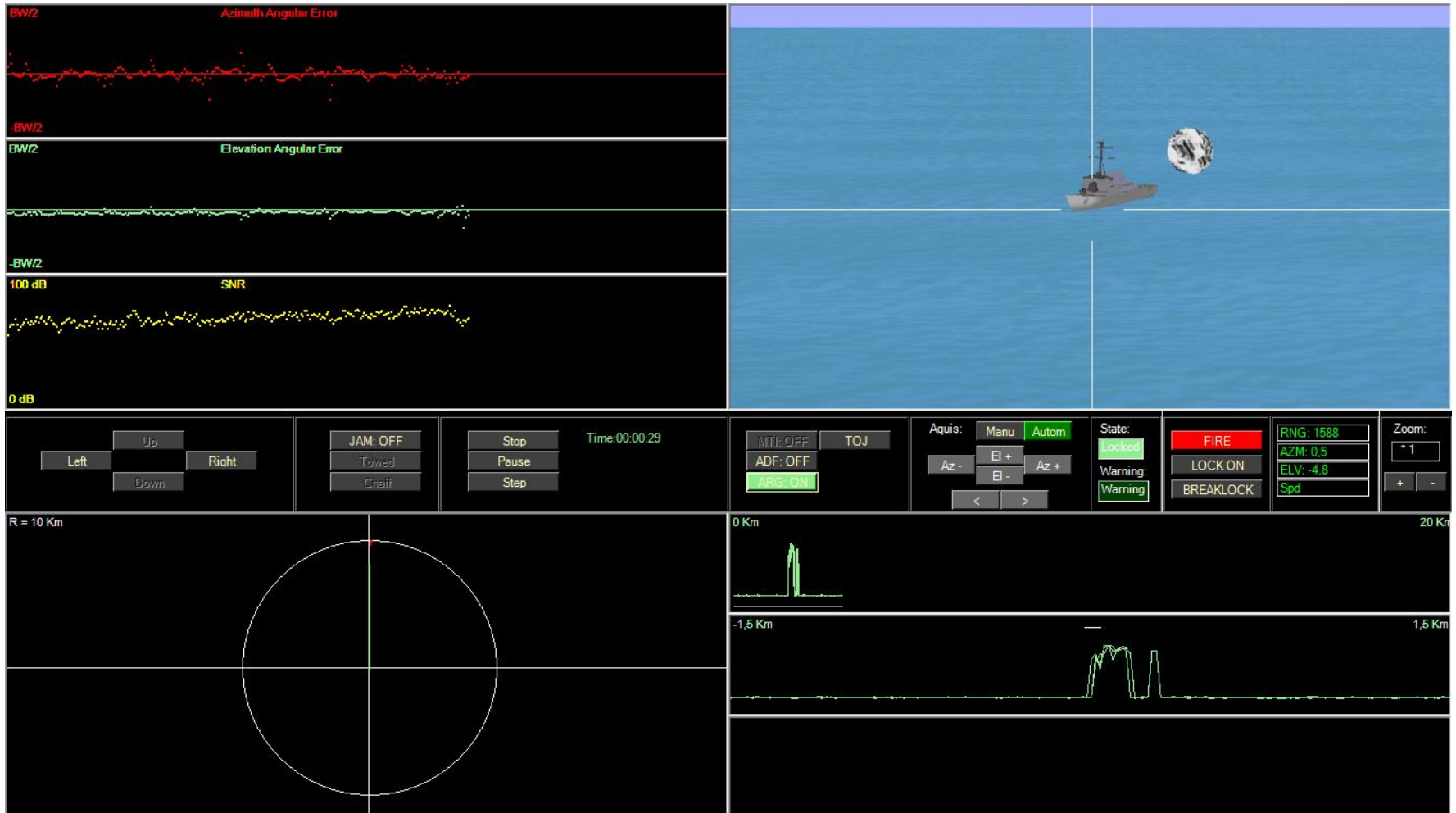


AS-X-20 (Harpoonsky)



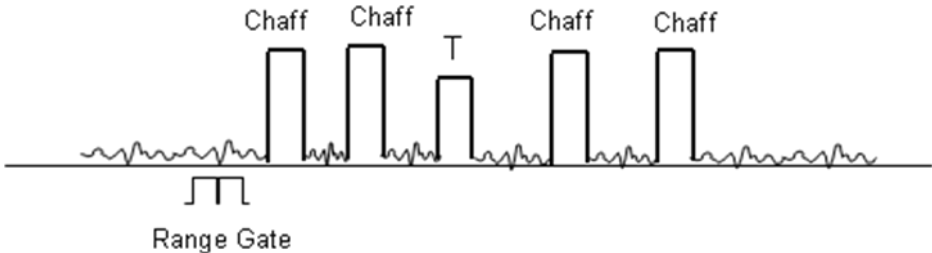
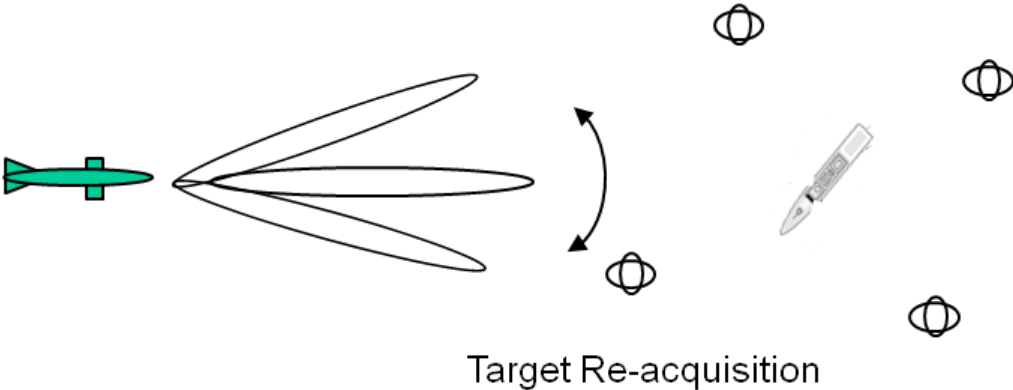
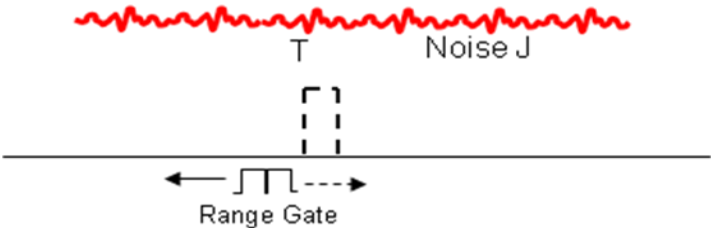
Tartus (Siria)

# Simulazione Chaff vs Leading Edge

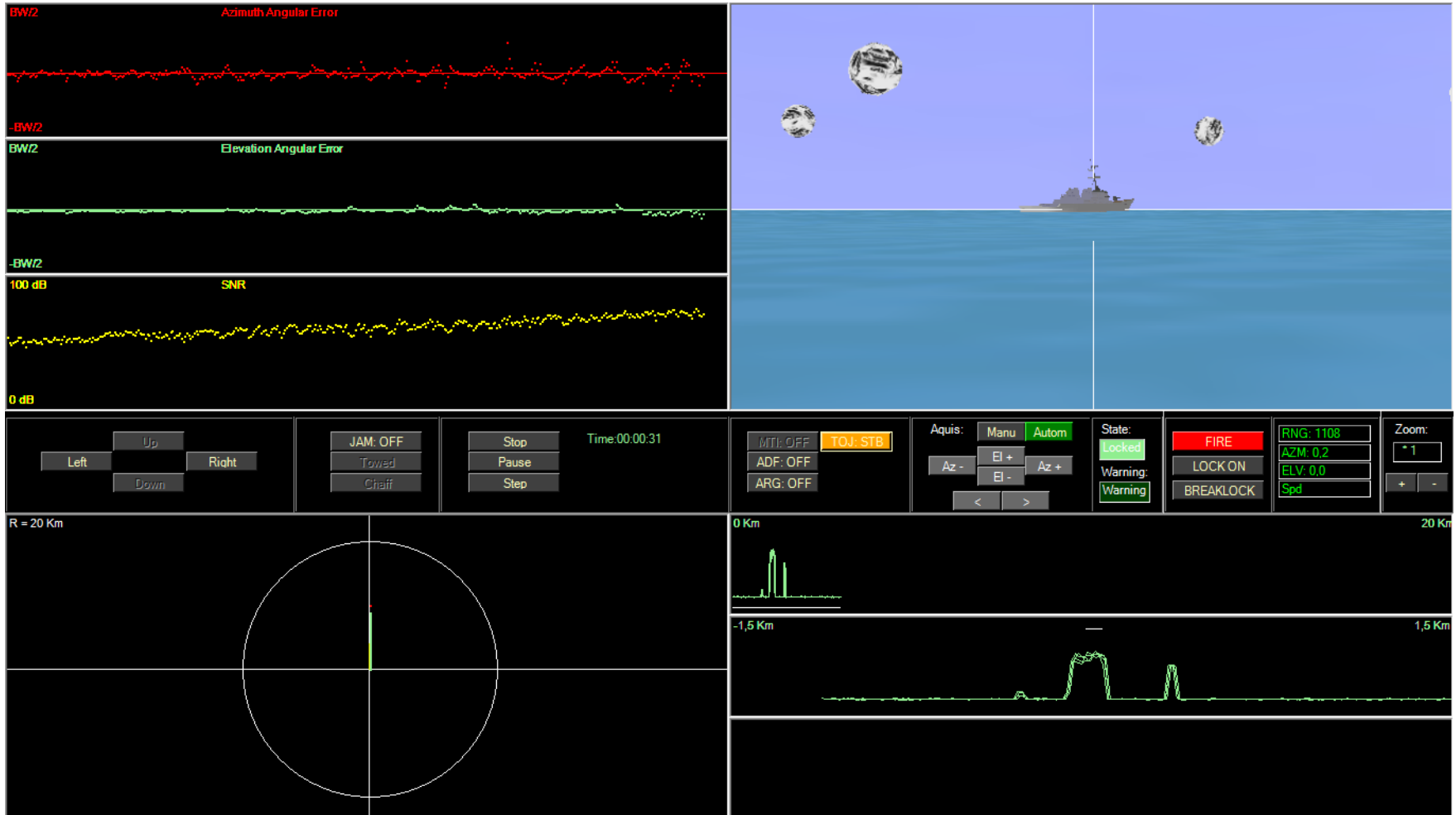


*nave in avvicinamento. Il Leading Edge non consente la difesa della nave*

# Cooperazione ECM-Chaff



# Effetto del Track-On-Jam (TOJ)



# Difesa Elettronica “a strati”

- Capire la minaccia elettromagnetica precocemente (**ESM** alta sensibilità e DOA accurato )
- Capire la pericolosità della situazione e guidare l'Hard Kill (**MFR** con Tracking)
- Applicare l' “**Electronic Attack**” (on board **ECM**), per prevenire un attacco missilistico multiplo e coordinato che potrebbe mandare in saturazione l'Hard Kill. L'Electronic Attack colpisce solo i radar nemici e non disturba il proprio MFR.
- Usare la difesa **Hard Kill** (Missili anti missili a lunga distanza, caratterizzati da una buona “Single Shot Kill Probability” (SSKP), gun e CIWS a corta distanza, caratterizzati da una più modesta SSKP),
- Usare la difesa “**Soft Kill**” solo come supporto dell'hard kill, cioè in situazione di saturazione delle linee di fuoco o se un missile sta per uscire indenne dall'hard kill.
  - Il “**Soft Kill**” deve essere sicuro (o **Cross Eye** o “**Off-Board Decoys attivi**”). (è necessario sapere se la minaccia è a guida RF o IR o entrambe, per selezionare la corretta azione di difesa)

# Difesa Off Board

- **Oggi il Cross-Eye è di difficile installazione e comunque costoso**
- **Un sistema efficace di Chaff diventa essenziale**
- L'ideale sarebbe che il sistema di chaff fosse in grado di generare una eco con RCS:
  - Più forte e appetibile di quella della nave, per contrastare anche i seekers con tracking di tipo centroide e con scintillazione
  - Nel range gate o a distanza leggermente superiore al range gate, ma tale che possa muoversi verso il seeker per catturare il Range Gate e superare il Leading Edge (nel caso di seekers con Leading Edge non necessariamente la Chaff deve essere di RCS maggiore di quella della nave)
  - Che possa spostarsi angularmente indipendentemente dal moto nave e dal vento "portando via" il missile

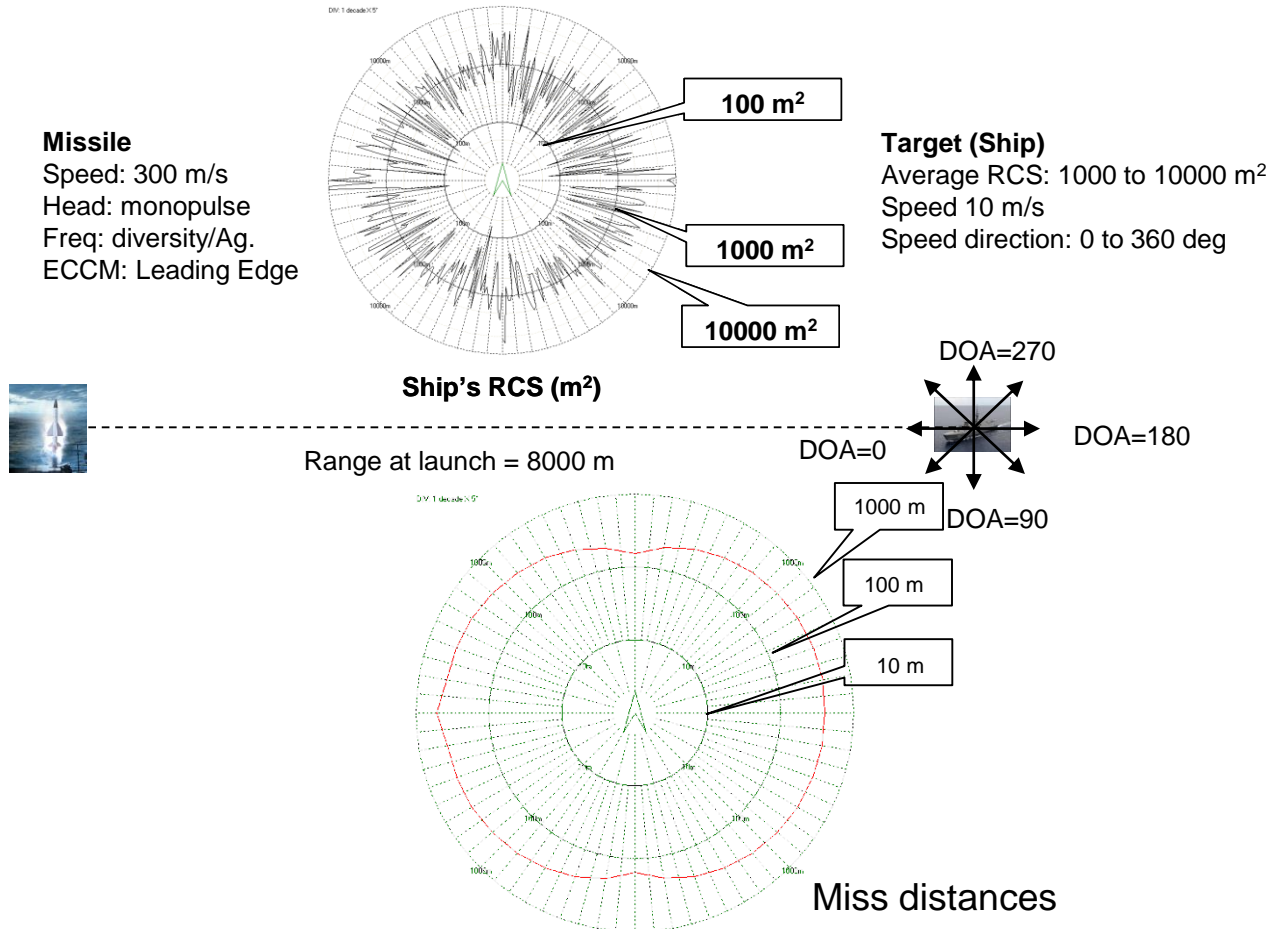
Questo è quello che cercano di fare il "Nulka" e il "Siren", sistemi attivi simili, ma ingegnerizzati in modo molto differente. Hanno un costo unitario decisamente alto e con dispositivi molto simili a sistemi ECM miniaturizzati (DRFM, TWT, etc.)

# Requisiti di un Sistema moderno di Chaff

- deve essere indipendente dai movimenti della nave e dal vento
- deve creare un bersaglio con RCS credibile (scintillazione)
- deve sedurre seeker sia con leading edge che non
- deve produrre una RCS molto grande
- deve operare in una Banda RF molto larga (6-18 GHz)
- deve operare indipendentemente dalla Polarizzazione (H o V)
- deve essere operativa in ogni tempo
- deve avere un Tempo di Reazione molto breve
- deve operare in modo completamente automatico
- non deve avere alcuna carica esplosiva
- dovrebbe essere combinata con Flares
- deve utilizzare un Sistema di lancio intelligente

# Prestazioni di una Chaff Elettronica

La simulazione della Chaff attiva contro missili anti-nave ha fornito risultati molto buoni anche nelle situazioni più critiche.



# NEC - Sistema di Chaff Elettronica VL

Riservato di Società

Allegato 1

PROPOSTA DI PROGETTO R/T NELL'AMBITO DEL PNRM

## 1. NAZIONE

ITALIA

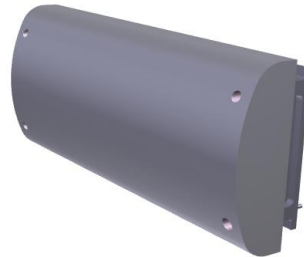
## 2. TITOLO DEL PROGRAMMA DI RICERCA

Active Radar Chaff Object (ARCO)

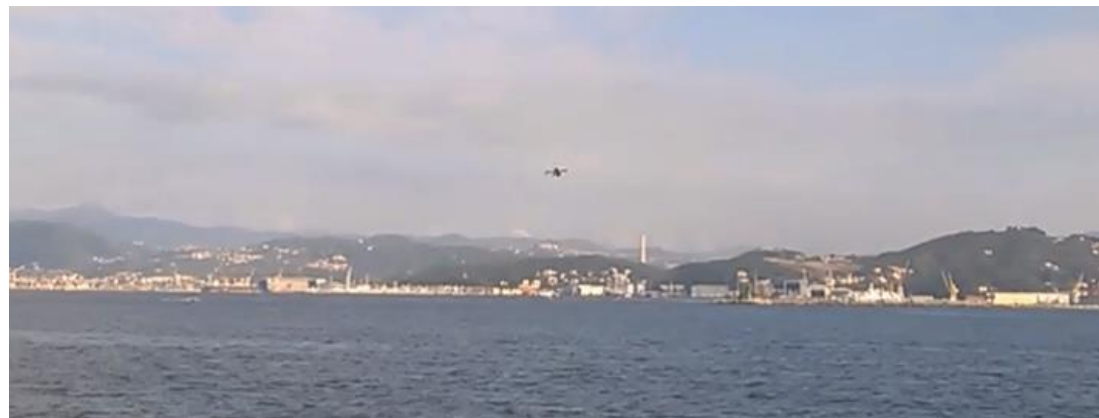
## 3. BREVE DESCRIZIONE

### 3.1 Introduzione

I sistemi di contromisura RADAR oggi utilizzati in campo nazionale si basano su munizionamento di tipo "Chaff" che, in considerazione delle ormai sofisticate capacità di processing della minaccia, non essere più operativamente efficaci nei confronti di minacce evolute. In particolare le "Chaff" di tipo classico non sono in grado di generare delle segnature radar (o "Radar Cross Section", RCS) idonee a fornire, anche in supporto ai moderni sistemi di RECM nazionali, una difesa sicura di una piattaforma navale nei confronti di una moderna "minaccia"



## Scheda PNRM Ago 2013



# Risultati preliminari di RCS del sistema NEC

Frequency (GHz)	RCS (sqm)
6	2678
8	9397
9.4	12131
12	9723
14	11719
16.2	22239
17.3	9100
18	7423

(V or H pol.)

# Chaff Elettronica & Flare

Il Drone del sistema NEC può portare anche Flares per contrastare missili IR



# NEC primi voli



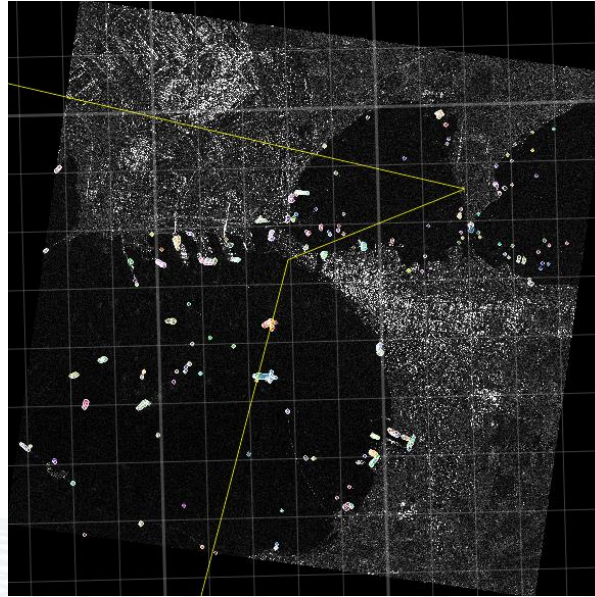
# NEC sul mare



# Considerazioni Conclusive

- Virtualabs è in grado di procedere autonomamente allo sviluppo completo del sistema NEC realizzato oggi in modo autonomo ed in forma prototipica (drone e payload)
- Altre Nazioni, con il supporto delle loro Marine, stanno studiando sistemi simili ma non con le stesse prestazioni attese del sistema NEC: speriamo che anche in Italia si possa avere lo stesso supporto
- La MMI, al termine, potrebbe avere disponibile un sistema nazionale di Chaff attiva per la difesa delle sue moderne piattaforme Navali

## **MIGLIORAMENTO DELLA COMPRENSIONE DELLO SCENARIO MEDIANTE INTERPRETAZIONE AUTOMATICA DI IMMAGINI RADAR AD ALTA RISOLUZIONE**



*La segnatura radar ed elettrottica delle moderne unità navali: valenza, metodi  
per il controllo e sviluppi tecnologici*

**C.I.S.A.M. , San Piero a Grado (Pisa), 31/05/2017**

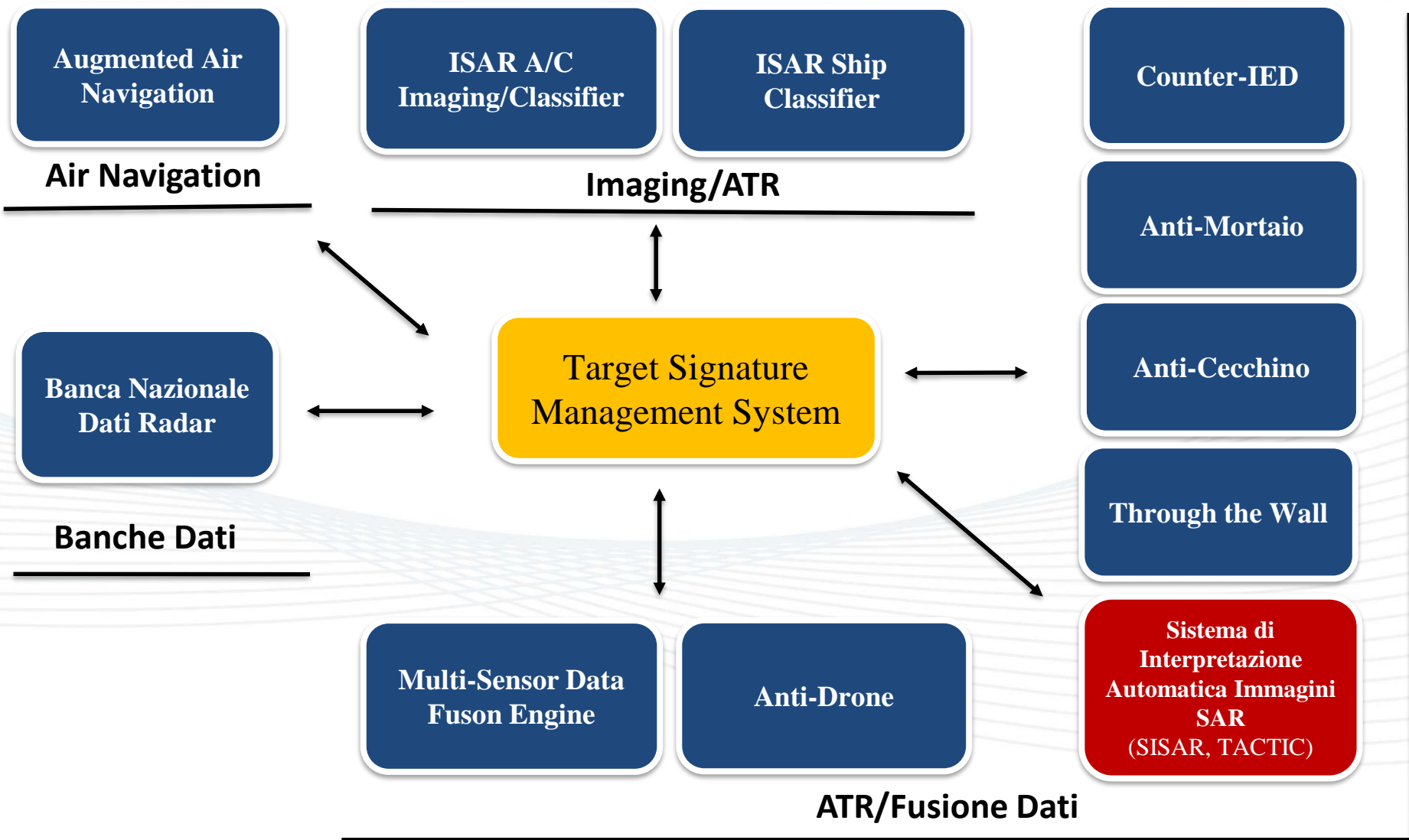
Gianpaolo Pinelli

## ❑ **Competenze in ambito Remote Sensing (IDS STL Lab)**

- Aree Applicative, Tecnologie, Esperienze in ambito SAR/ISAR

## ❑ **Sistema di Interpretazione di Immagini SAR:**

- Premessa, Bisogni Utente Militare
- Schema Logico/Funzionale, Modi Operativi
- Maritime Situation Assessment:
  - Scoperta, Estrazione e Classificazione delle Navi
  - Monitoraggio Periodico e Continuativo di Aree Portuali
  - Gathering Area Analysis



## ❑ Bisogni Utenza Militare

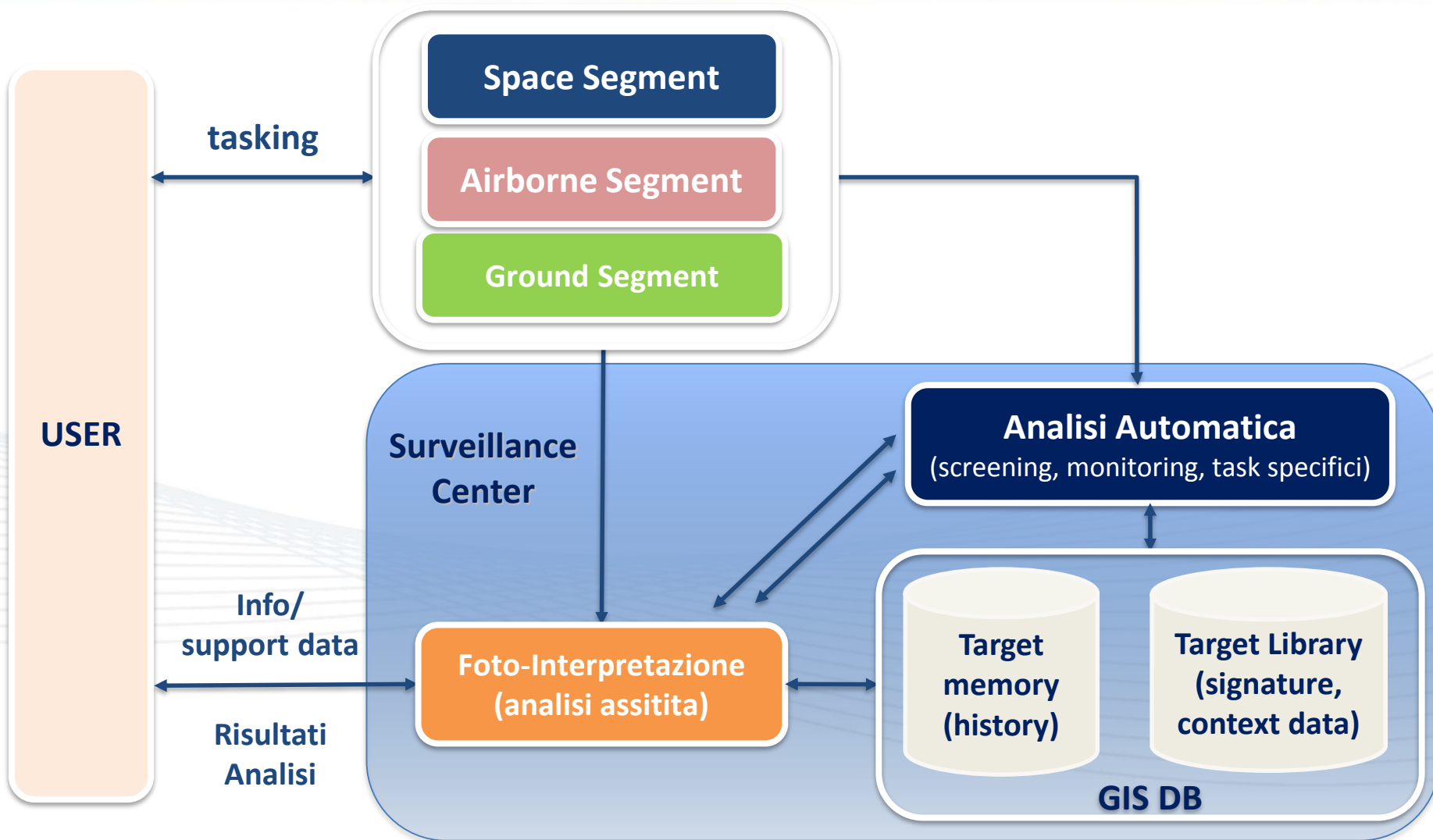
Esigenze in ambito *strategico, operativo e tattico* si sovrappongono, richiedendo strumenti di analisi di immagini SAR sempre più specifici, robusti, veloci, idonei ad integrarsi con informazioni disponibili sullo scenario, in grado di ridurre il crescente carico di lavoro operatore e, allo stesso tempo, incrementare la capacità di sfruttamento dei dati esistenti.

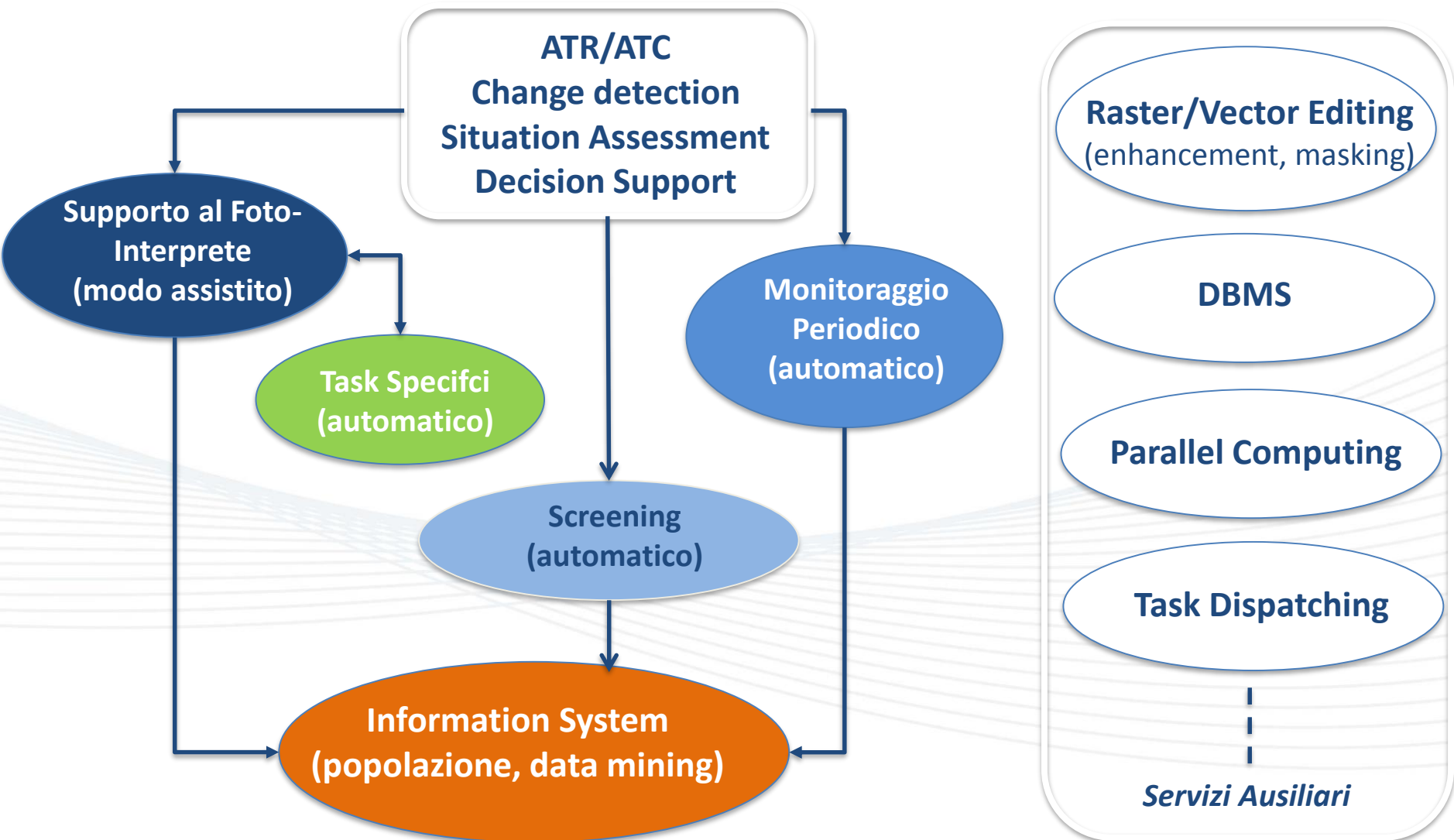
## ❑ SISAR/TACTIC (PNRM)

I progetti SISAR/TACTIC rispondono a tale esigenza, avendo l'obiettivo di concepire un sistema di interpretazione automatica di immagini SAR avioniche e satellitari, in grado di integrare applicazioni «verticali» (non general purpose), strettamente sviluppate sulla base dei requisiti di missione, ad alte prestazioni, efficienti e pienamente automatiche.

In particolare, il progetto **TACTIC**, articolato in quattro fasi di durata annuale (al momento finanziata e conclusa la Fase 1), si pone l'obiettivo di sfruttare la potenzialità delle facilities A.D. esistenti (CSK/CSG, Predator) in ottica di assicurare la sorveglianza del territorio nazionale per lunghi periodi di tempo (**Persistent Surveillance**) e proiezione di capacità operative per il conseguimento della stabilità anche al di fuori dai confini nazionali (**Expeditionary**).

La presentazione offre una panoramica della tecnologia sviluppata per l'incremento della comprensione dello scenario marittimo (**MSA**).





## Target Extraction

Ship Detection (ship, gruppi imbarcazioni) su scenari eterogenei (open sea, porti strutturati e non strutturati)

Aircraft Detection (apron)

Scoperta di passaggi veicoli (Tracks), navi (Wakes) ed Infrastrutture sensibili associate ad aree recintate (Siti Radar/SAM, magazzini, depositi, ...)

## Change Detection

Ship Change Detection in Porti Strutturati (e non)

Aircraft Change Detection su Apron (parcheggi)

## Gathering Area Analysis

Car Counting in aree di parcheggio

Container Counting in depositi

## Target Classification

Ship Classification (machine learning, self-learning)

## Wide Area Analysis

Terrain Mapping (supporto alla pianificazione di missione)

Terrain Landmark Extraction (linea di costa, fiumi, laghi, runways, apron, aree urbane e vegetate, etc.)

DT-TACTIC

File Data Processing Utility ?

Exit Import New Mission Mission Raster GMTI Track Sensor Track

File Import Data Export Data

Main View

Ribbon Bar

DT-TACTIC

- └ Missions
  - └ targr\_33
  - └ zeebrugge\_mm\_31
  - └ giociv\_30
  - └ Zeebrugge\_25
  - └ Telaar\_wake\_21
  - └ Taranto\_19
  - └ tirreno\_nm\_17
  - └ Telaar\_track\_16
  - └ **Tarant\_3imm\_13**
    - └ Rasters
      - └ SRM\_136\_11C
      - └ SRM\_137\_11C
      - └ SRM\_137\_11C
    - └ AO Statistics
      - └ Target Extraction
        - └ Ship
          - └ molobulk\_ms\_hard
          - └ maribase\_ms\_standard
          - └ analisi2
          - └ analisi1
        - └ Aircraft
        - └ Coastline
        - └ Enclosure
        - └ Man Made
        - └ New Track
        - └ Ground Target
        - └ Collateral Damage (Probability) Eval
        - └ Hard Target Searching
        - └ Target Change Detection
      - └ GMTI Tracks
      - └ Sensor Tracks
    - └ gromil\_12
    - └ bologna\_test\_9
    - └ Aereoporti\_mm\_8
    - └ Portoferraio\_5
    - └ Pescara\_4
    - └ Fiumicino\_3
    - └ Bari\_Tizi\_1

2.6° E

Integrated  
Graphic  
Environment  
(raster+ vector)

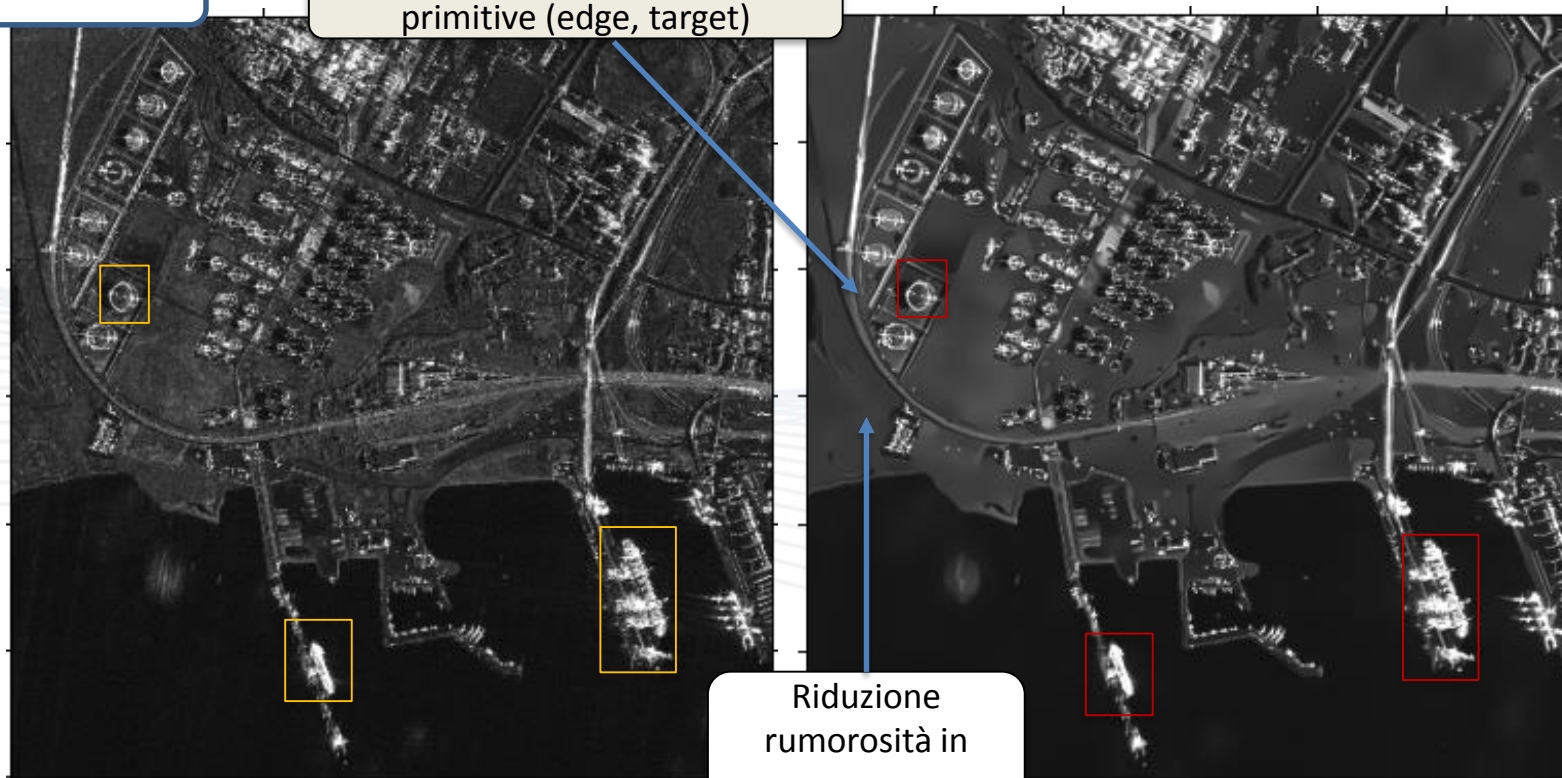
Updating local objects... Done! [676950.158 | 4487767.734] [WGE] 40° 31' 18.378536" N 017° 05' 20.067829" E

Session ID	Event ID	Date	Component	Text Message
500	8	3/18/2016 12:47:37 PM	DT-TACTICTreeViewUC	Load Mission Taranto_3imm_13 Completed!
500	7	3/18/2016 12:47:26 PM	DT-TACTIC	DT-TACTIC Startup correctly!
500	6	3/18/2016 12:47:26 PM	DT-TACTIC	Initialization GDAL Library GDAL 1.9.2, released 2012/10/08 Completed!

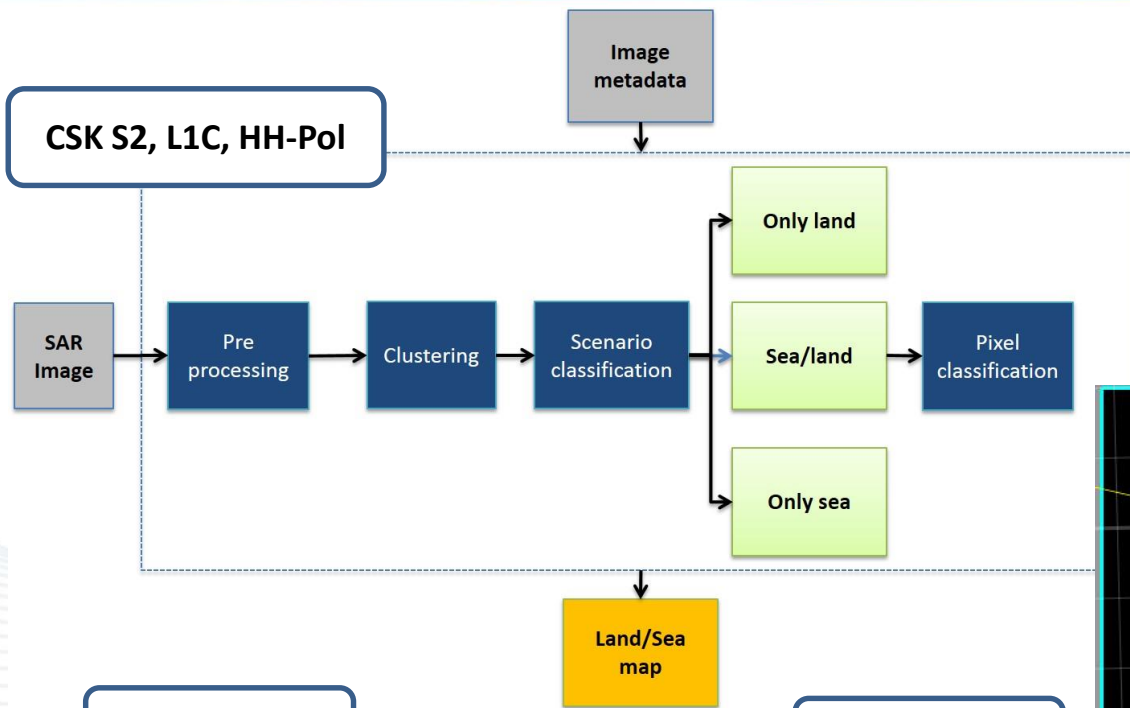


CSK S2, L1C, HH-Pol

Conservazione Informazione primitiva (edge, target)



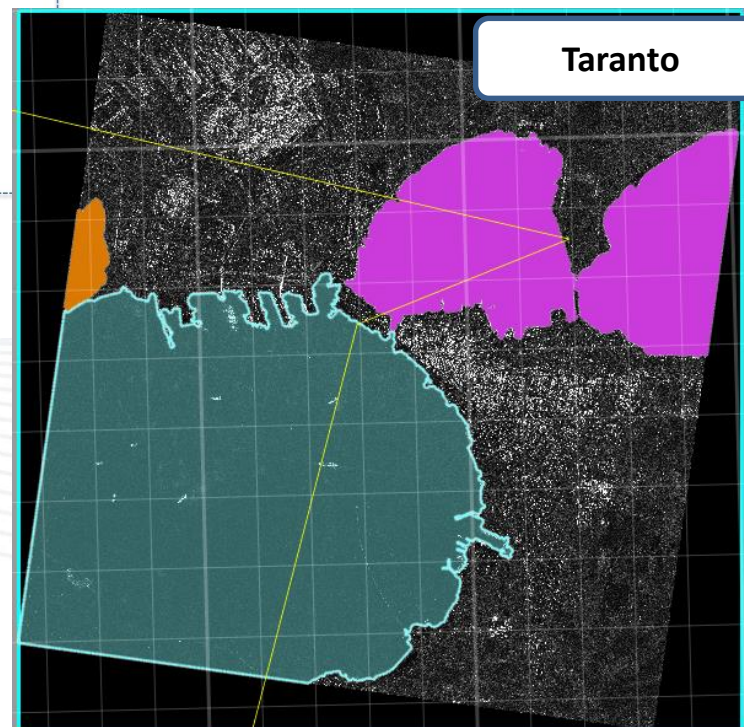
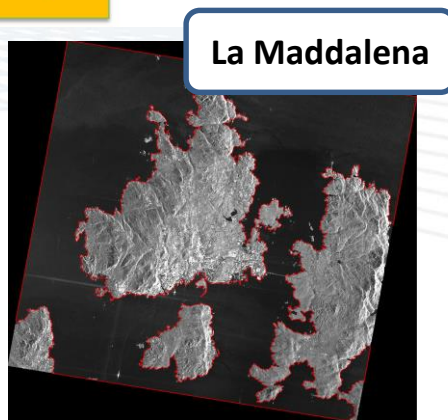
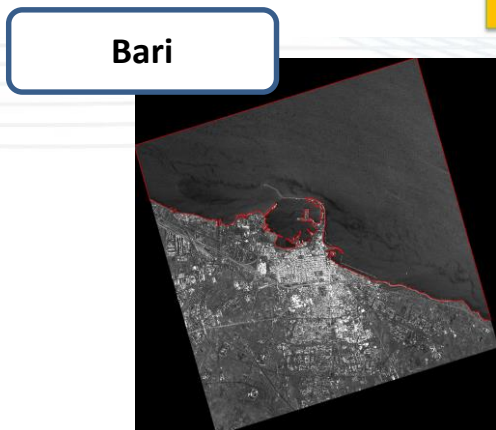
Riduzione rumorosità in aree omogenee



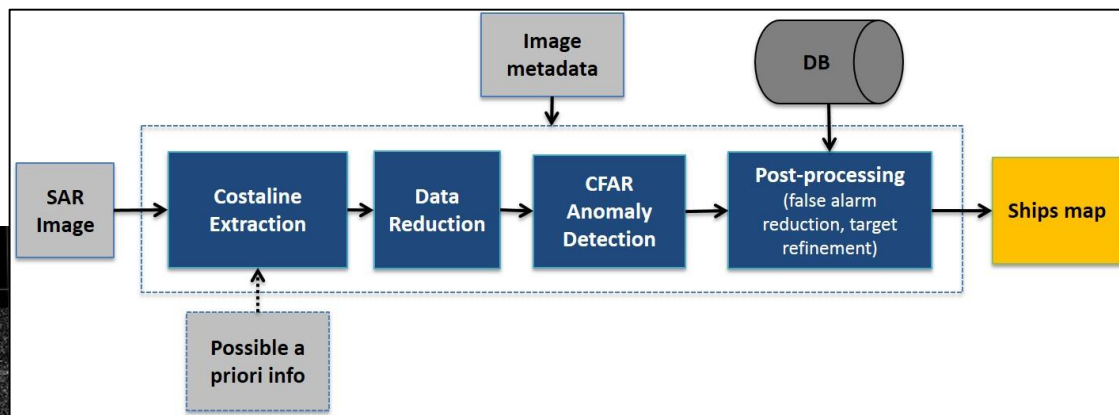
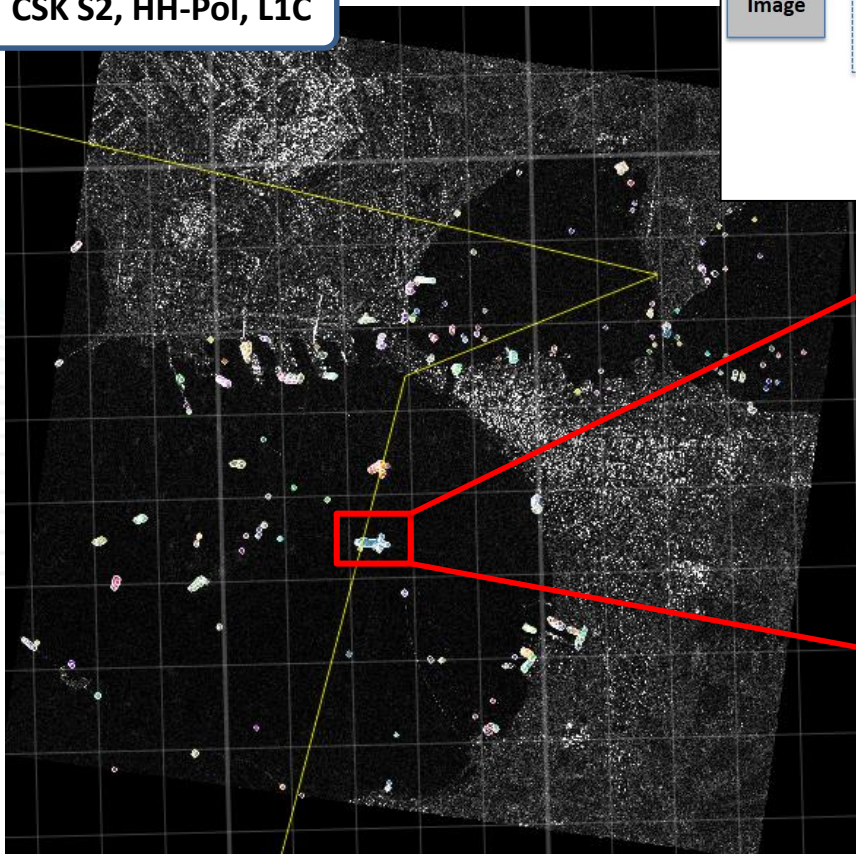
Target Details Viewer

Target Info	
Sea Area [Km <sup>2</sup> ]	36.64
Perimeter [Km]	n.c.
Coastline Length [Km]	148.089
Width [Km]	n.c.
Height [Km]	n.c.
Category	COASTLINE

Close



CSK S2, HH-Pol, L1C



Target Details Viewer

File View

**Target Info**

Aspect [°] 174.919 Category SHIP  
 Length [m] 336.008 Perimeter [m] 804.886  
 Width [m] 44.928 Area [m<sup>2</sup>] 14664.5  
 Height [m] n.c. #Anomalies 1  
 Classified Class Bulk

advanced info

**Scattering Centers**

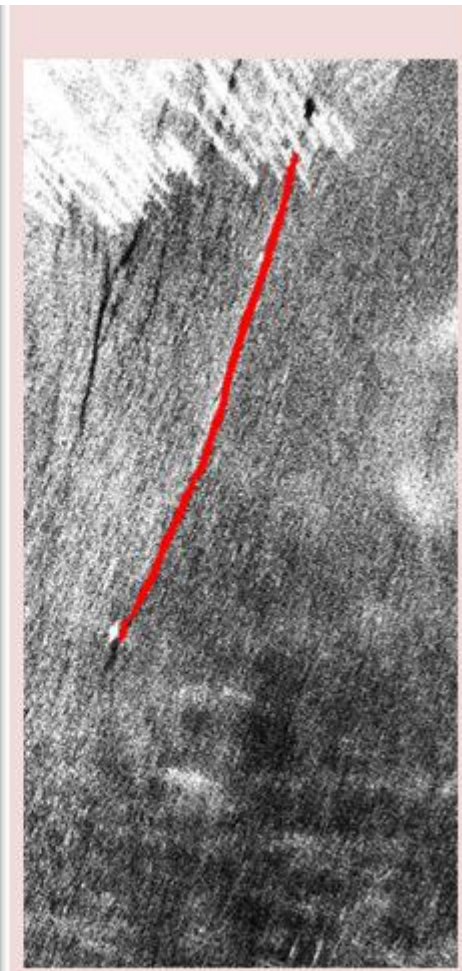
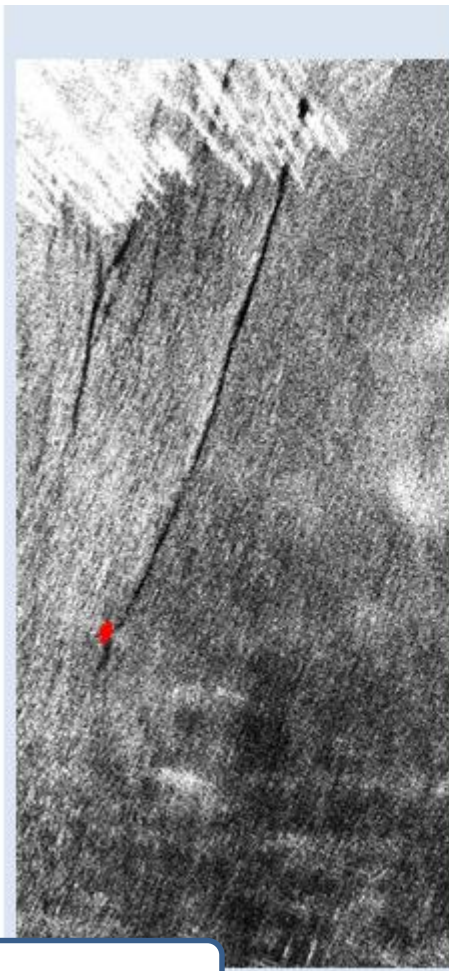
ID	X Coordinate [m]	Y Coordinate [m]	Amplitude [dB]
1	688654	4480540	87.74
2	688659.5	4480537	87.316
3	688659	4480533	85.622
4	688658.5	4480531.5	84.946
5	688402.5	4480544	84.793
6	688660	4480542.5	84.337
7	688659	4480534	83.635
8	688403	4480549	83.589
9	688644.5	4480535	81.486
10	688404	4480554.5	80.878

Updating local objects... Done! [688676.029 | 4480600.977] [WGE] 40° 27' 16"

Close

- **Approccio:** Model-Based, Object-Oriented
- **Computational Load:** pochi minuti per full CSK Image
- **Detected Ship:** target di almeno 10 pixels

TELAER, VV-Pol




Taranto, 2006

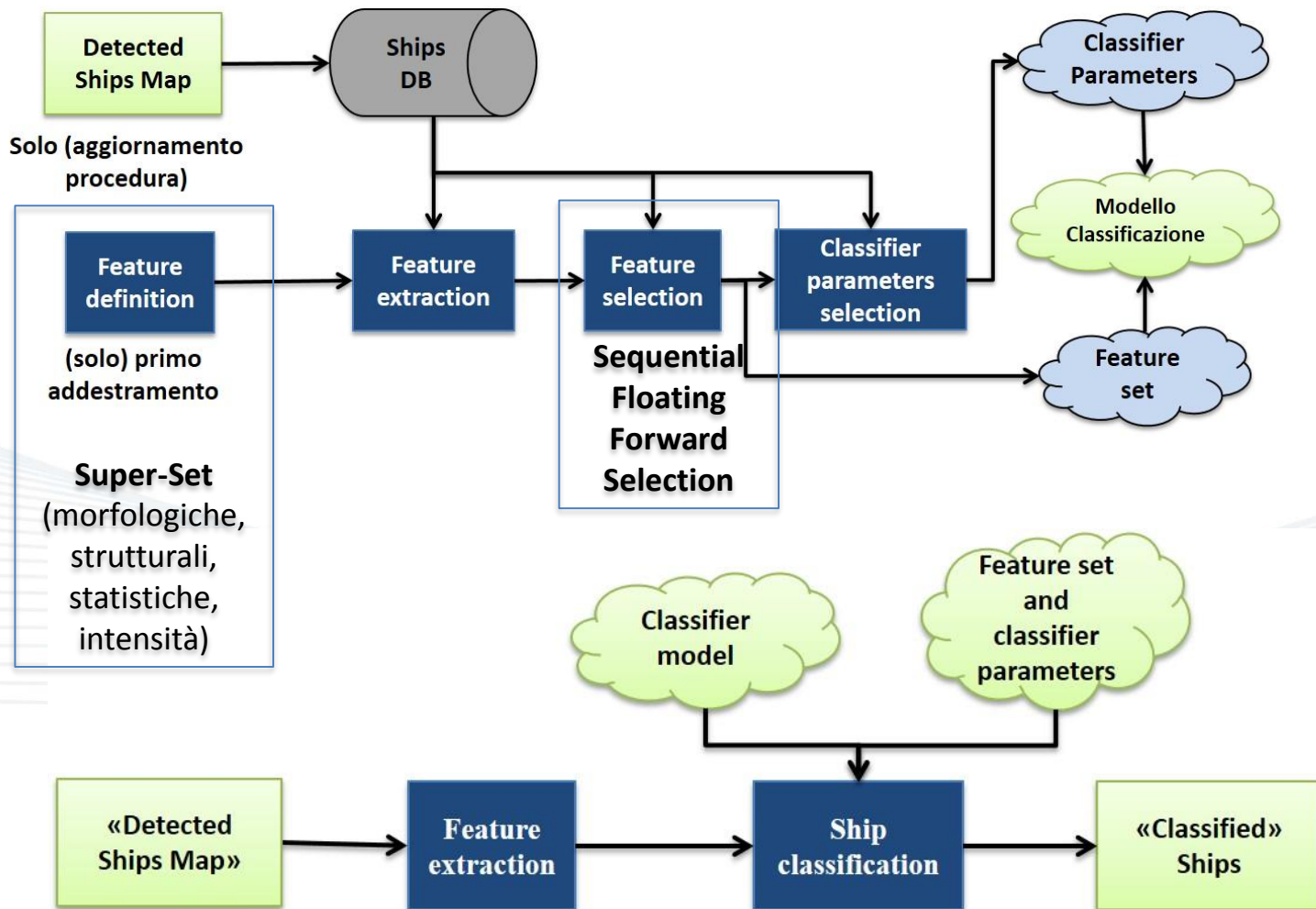
Stage 1	Stage 2	Stage 3	
Military	Aircraft Carrier	Aircraft Carrier	
	Amphibious	Amphibious	
	Auxiliary	Auxiliary	
	Big Fighter		Destroyer
			Frigate
			Patrol
	Small Fighter		Corvette
Mine Warfare			
Submarine		Submarine	
Civilian	Cargo	Bulk	
		General Cargo	
		Container	
	Ferry		Passengers
			Passengers/Ro-Ro
			Ro-Ro
	Tanker		Oil
			Chemical/LPG
			LNG
			Other
	Other Civilian		Yacht
Fishing			
Tug			
Other			
Small Vessel	Small Vessel	Small Vessel	

	Samples (Estrazione Manuale)	Samples (Detected Target)
Aircraft Carrier	17	15
Amphibious	11	11
Auxiliary	60	55
Big Fighter	94	73
Small Fighter	59	50
Bulk	83	71
General Cargo	113	100
Container	111	107
Ferry	264	246
Tanker	91	89
<b>TOT</b>	<b>903</b>	<b>817</b>

- **Schema:** gerarchico, multi-stadio
- **Capacità Discriminante:** 12 classi (Jane's, Marine Traffic) con potenzialità di estensione a 24, tra militari e civili
- **Training Samples:** implementati classificatori per target estratti "manualmente" e per target rivelati automaticamente. L'addestramento (training) del classificatore è stato effettuato solamente per i target "corrected detected", al fine di escludere dal processo rivelazioni incomplete o errate.

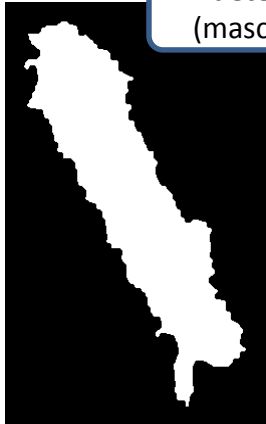
 Non ancora implementato/validato

«small vessel» riconosciute sulla base della sola lunghezza



Possibilità di aggiornamento utente della banca dati (training) e schema di classifica in modalità trasparente all'utente

**"detected target"**  
(maschera binaria)



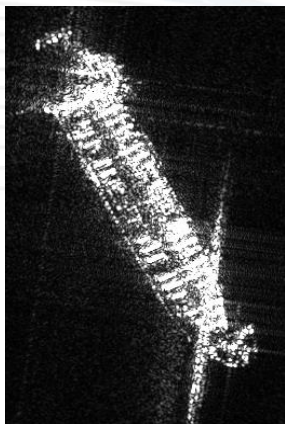
### Feature Morfologiche

(size, shape)



**"aligned (rotated) detected target"**

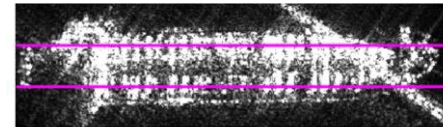
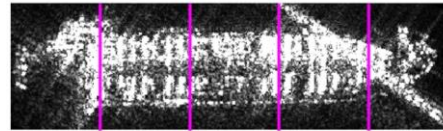
**"detected target"**  
(maschera intensità)



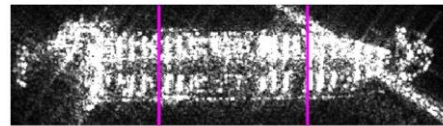
### Feature Intensità

- Legate alla distribuzione dei valori di backscattering (intensità)
- Legate all'entropia, rapporto segnale/clutter e contrasto dell'immagine

ZLu1 ZLu2 ZLu3 ZLu4 ZLu5



ZLu6 ZLu7 ZLu8



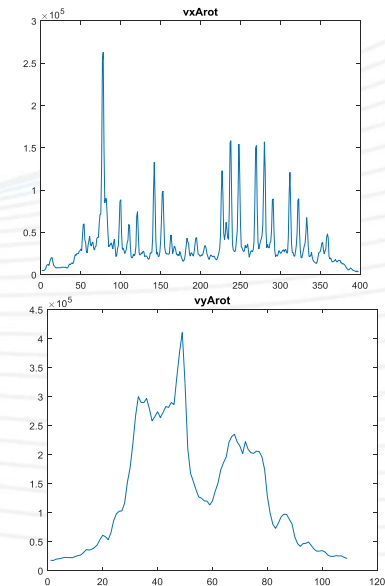
**"aligned detected target"**  
(maschera intensità)

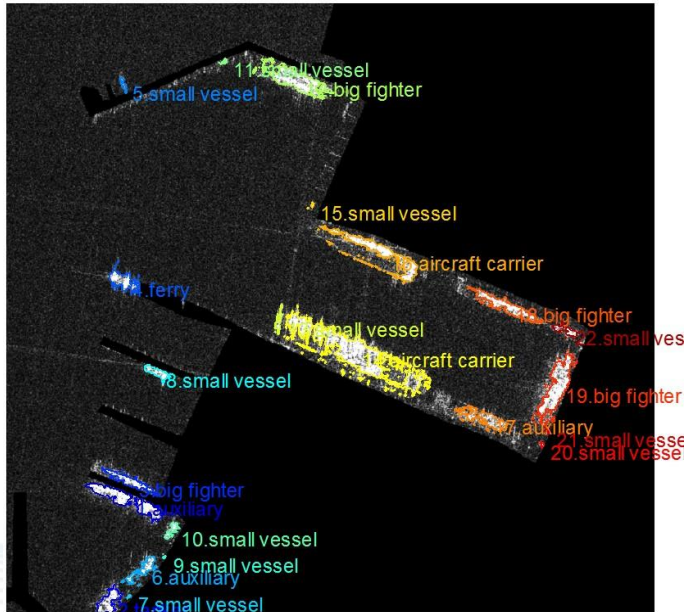
### Feature Strutturali

(variazione pattern riflettività sulle diverse sezioni della nave)

### Feature Tessiturali

- (from vectors) statistiche estratte dalla variazione della distribuzione riflettività lungo le direzioni principali della nave
- (dalla matrice di co-occorrenza) legate ai momenti fino al terzo ordine della matrice di co-occorrenza





### Stage 1: militare vs civile

Classifier	# features	PCC
SMV # 11	19	98.12
	-1	1
Military	-1	231
Civilian	1	7
		655

### Stage 2: Navi Militari

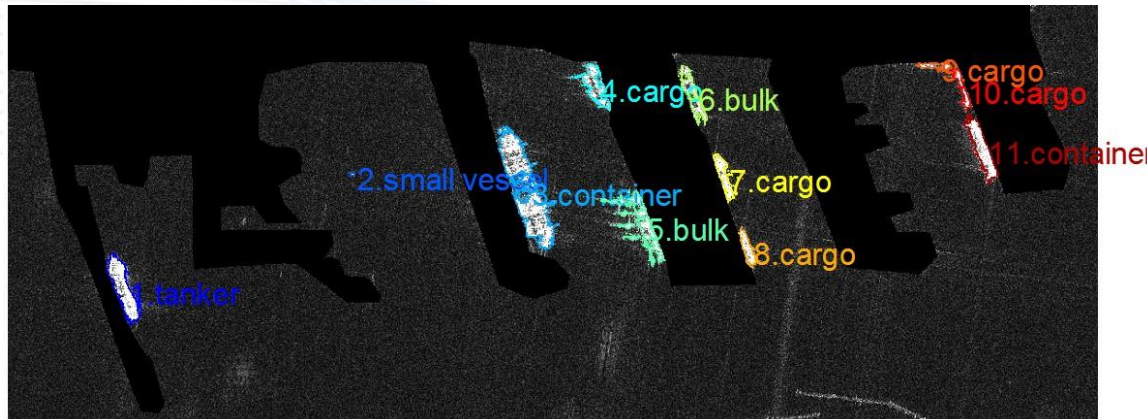
Classifier	# features	PCC			
SMV # 12	9	95.85			
	1	2	3	4	5
aircraft carrier	1	16	0	1	0
Amphibious	2	0	9	0	2
Auxiliary	3	0	1	56	1
Big fighter	4	0	0	1	93
Small fighter	5	0	0	2	0

### Stage 2: Navi Civili (cargo/ferry/tanker)

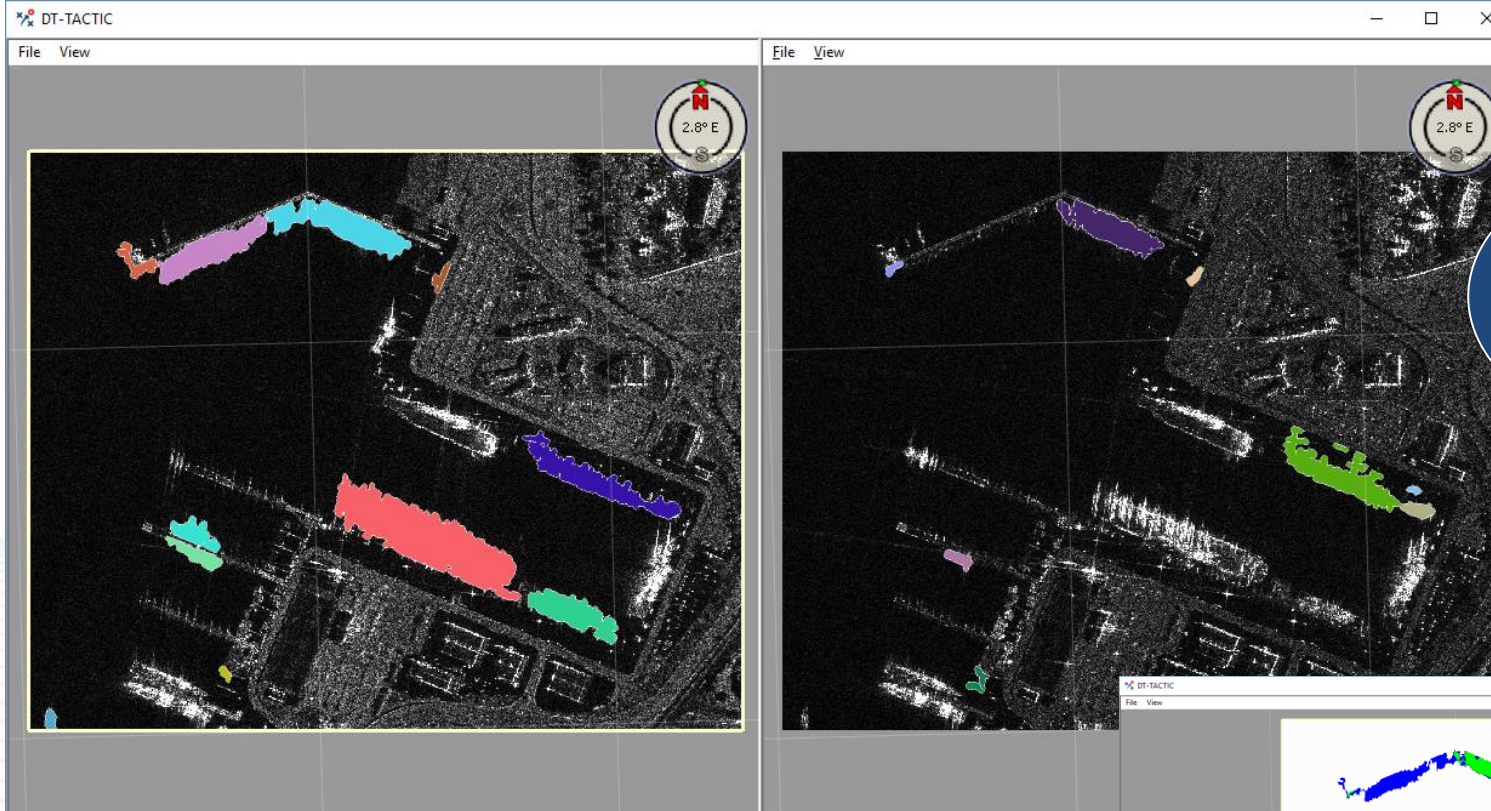
Classifier	# features	PCC	
SVM # 11	19	76.28	
	1	2	3
Cargo	1	250	53
Ferry	2	42	218
Tanker	3	41	13

### Stage 3: Navi Cargo

Classifier	# features	PCC	
SVM # 10	13	78.50	
	1	2	3
General Cargo	1	57	9
Container	2	5	95
Bulk	3	9	13



Testati 4 schemi di decisione (KNN, least squares, minum distance, SVM), migliori risultati ottenuti con SVM, Kernel Gaussiano

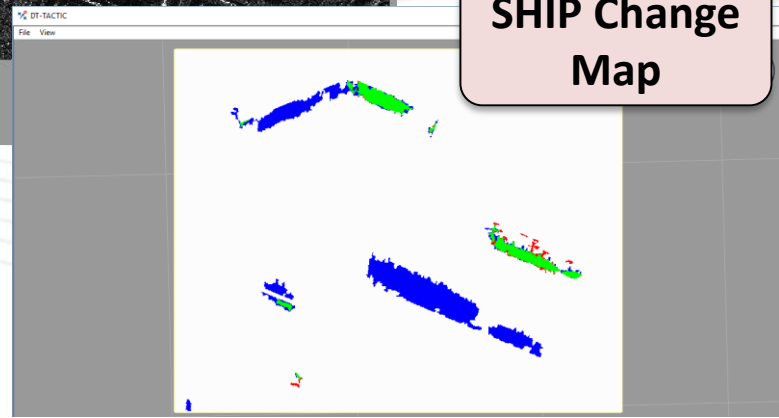


New!  
Individuazione  
Evento  
«Scambio»

SHIP Change  
Map

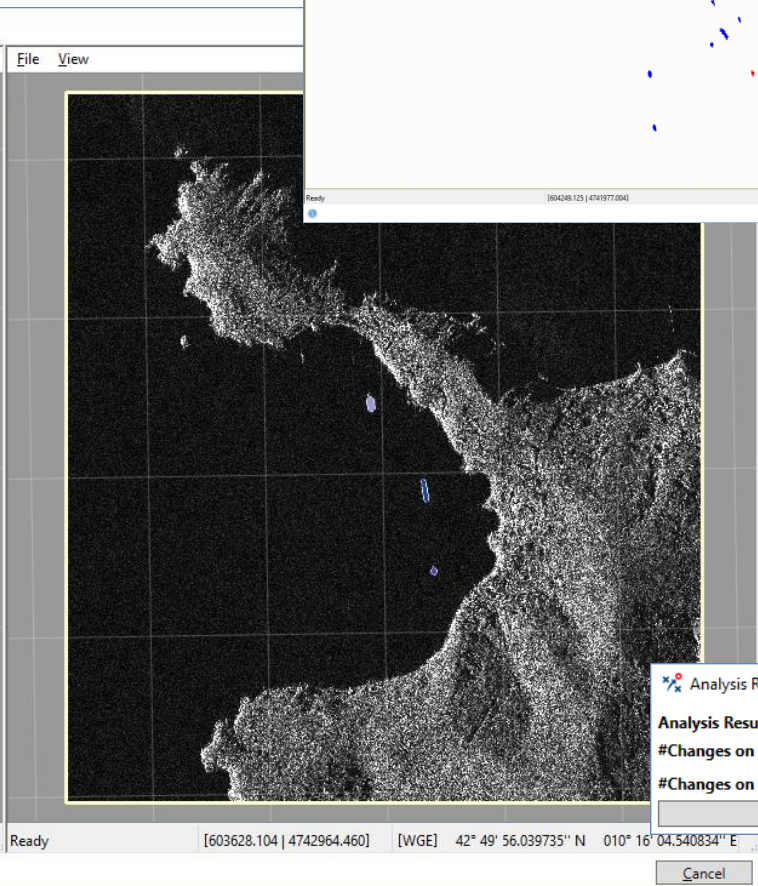
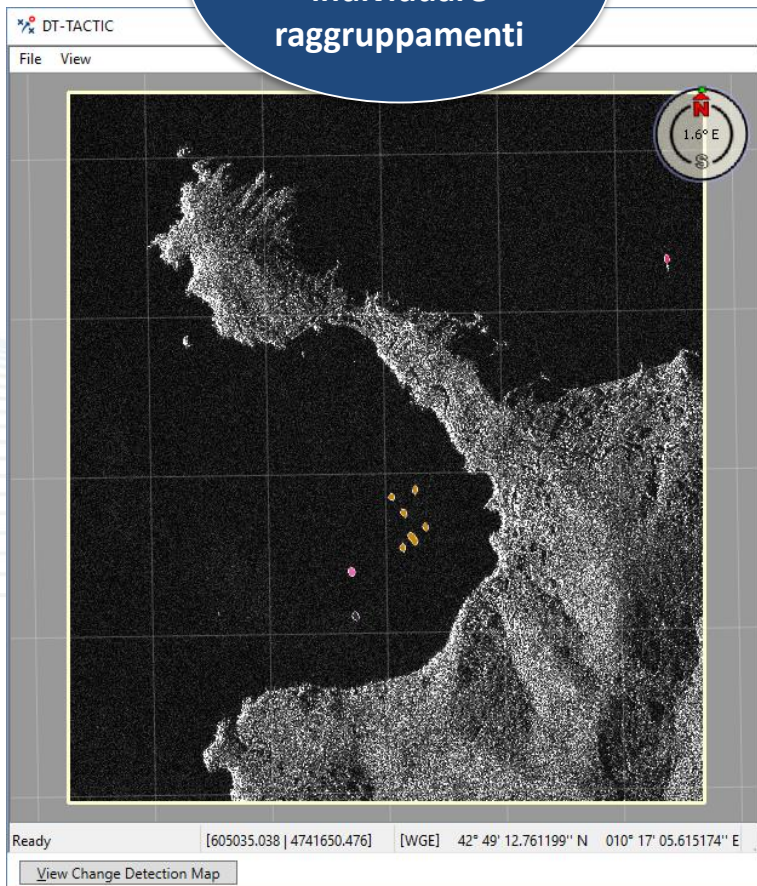
**Analisi turn-over  
manutentivo ed  
operativo**

Analysis Results	
Analysis Results	
#Changes on master image (on sx):	11
#Changes on slave image (on dx):	9
<input type="button" value="Close"/>	



**New!**  
Capacità di individuare raggruppamenti

**SHIP Change Map**



**Analysis Results**

Analysis Results

#Changes on master image (on sx):	4
#Changes on slave image (on dx):	3

Close

Cancel

### Movimentazione Auto



**Target Details Viewer**

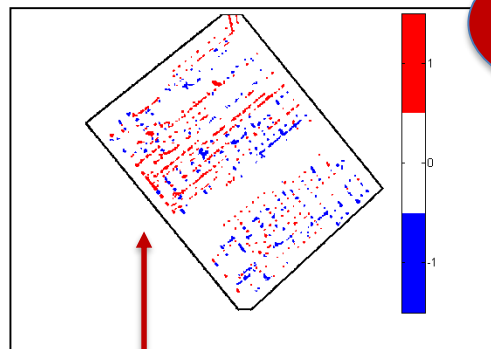
Ready

**Target Info**

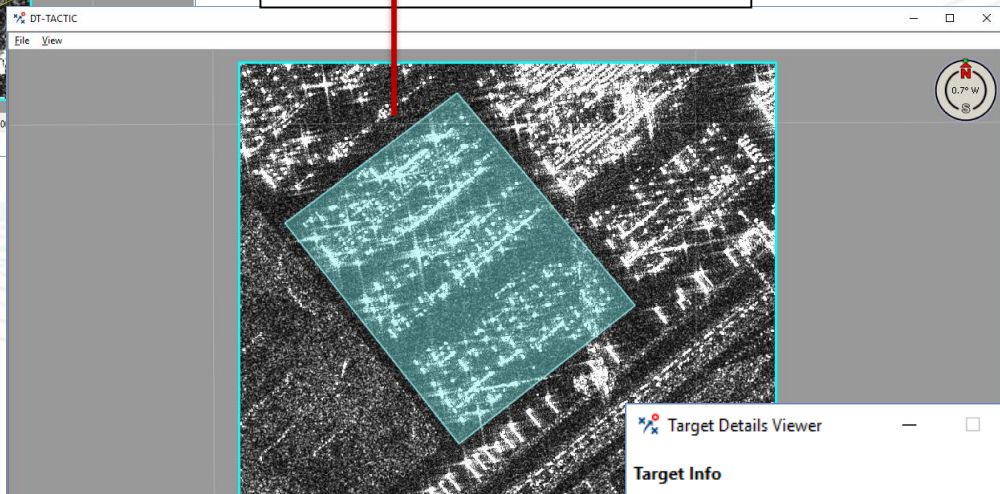
#Object (on master image)	12
#Object (on slave image)	3
Category	CAR

Close

- Legenda:
- No Change;
  - Change (backscattering increment);
  - Change (backscattering decrement).



**Capacità  
Conteggio  
Automatico**



**Target Details Viewer**

Ready

**Target Info**

#Object (on master image)	115
#Object (on slave image)	150
Category	CONTAINER

Close

### Movimentazione Container

## DT-TACTIC: Main Features

- ❑ **INNOVAZIONE:** algoritmi e procedure utente innovative
- ❑ **AUTOMATISMO:** fully automatic
- ❑ **(Quasi) REAL-TIME:** algoritmi veloci per supportare *decision making*
- ❑ **INTEROPERABILITA':** input/output/system standard data format
- ❑ **FACILMENTE ESTENDIBILE:** modulare, approccio a *plug-in*, disaccoppiamento fra interfaccia utente e codice sottostante

***LE NUOVE METODOLOGIE DI ANALISI IR UTILIZZATE DA  
FINCANTIERI/CETENA***

*Pisa, 31 maggio 2017*

## L'attività Cetena

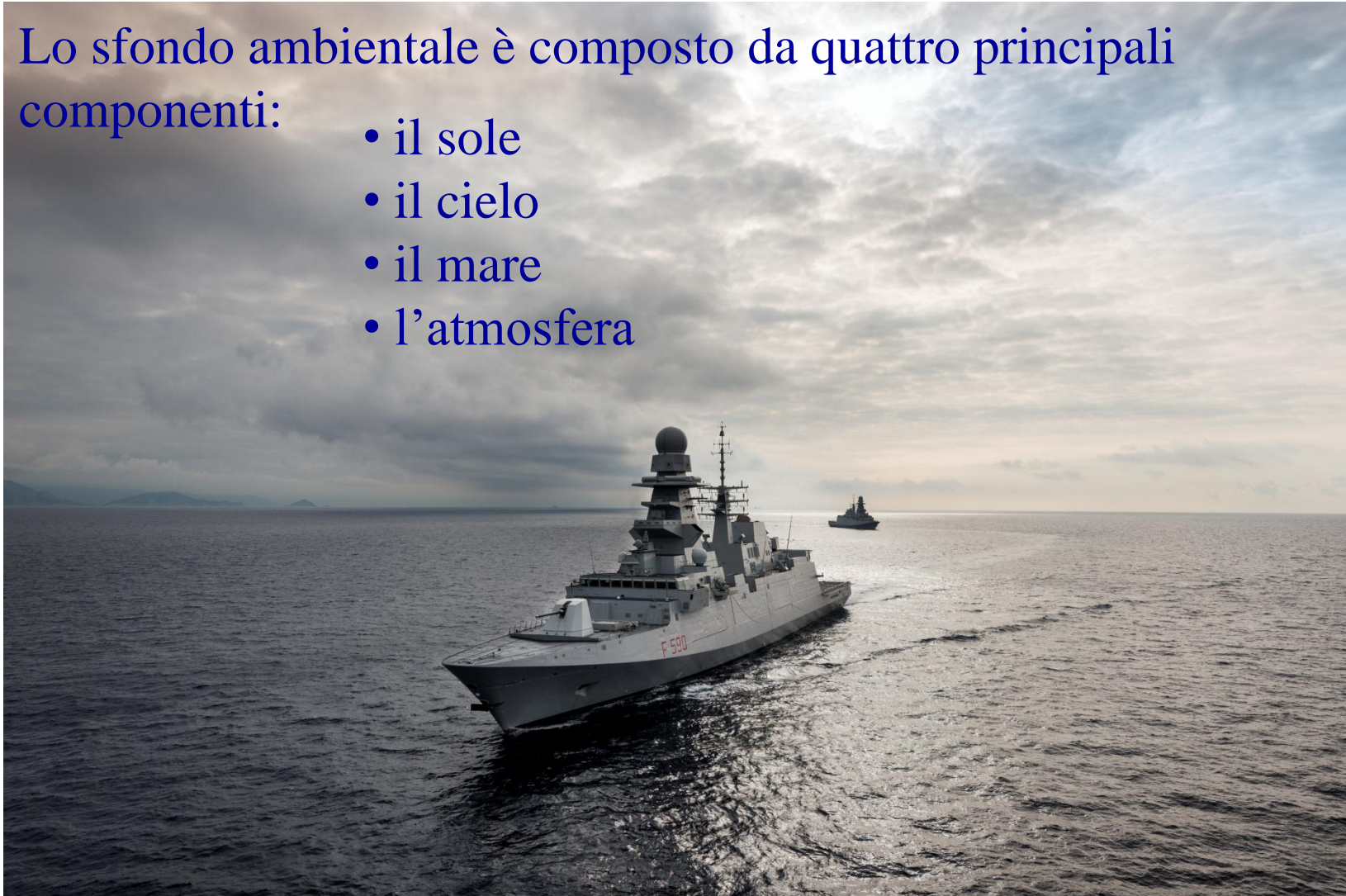
Nell'ambito della progettazione e costruzione di navi militari, dal 1998 Cetena è attivo nell'analisi e nella misura della segnatura IR delle UU.NN. Fincantieri

## ShipIR/NTCS

Codice di calcolo per la predizione e simulazione della segnatura IR di UU.NN. inserite in uno scenario ambientale marino, validato in ambito NATO e utilizzato come standard per simulazioni e analisi IR.

Lo sfondo ambientale è composto da quattro principali componenti:

- il sole
- il cielo
- il mare
- l'atmosfera



## ShipIR

ShipIR utilizza diversi codici di calcolo (tra cui Modtran e altri sviluppati ad hoc) per calcolare l'irraggiamento solare (diretto e riflesso), la radiazione diffusa proveniente dal cielo, dal mare e dalle superfici, la propagazione in atmosfera, etc.

## Principali input per l'ambiente

- Dati meteo (temperatura aria, temperatura mare, umidità relativa, velocità e direzione vento,...)
- Latitudine e longitudine
- Ora del giorno, stagione,
- Altitudine e banda spettrale dell'osservatore

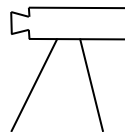
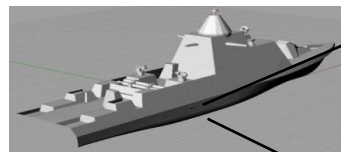
## Analisi/Simulazioni

ShipIR calcola la segnatura IR dell'U.N. per ogni scenario definito in base alle interazioni con l'ambiente esterno.

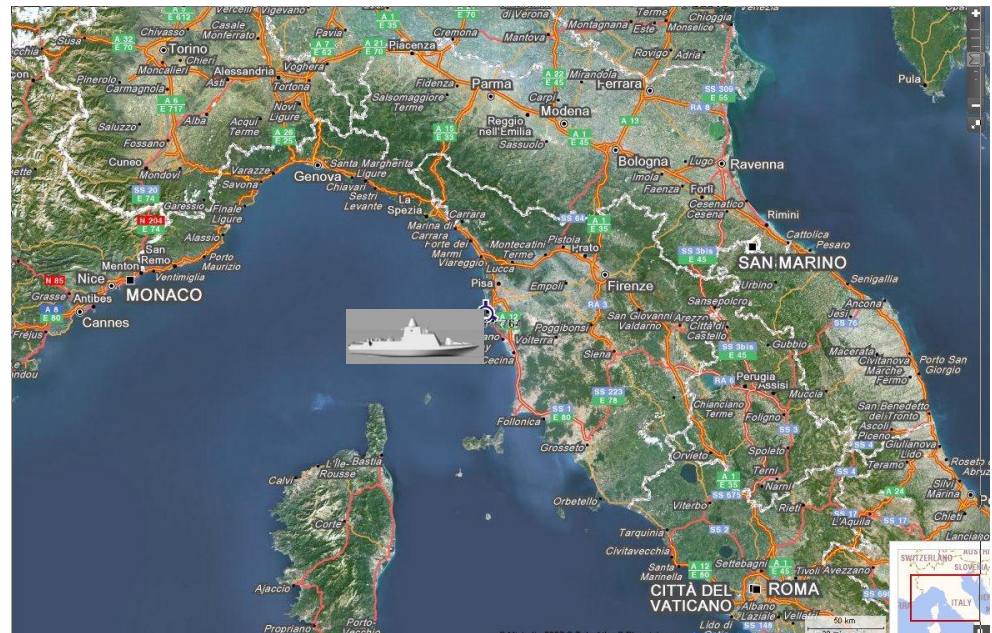
Solitamente viene usato un set di quattro scenari, individuando, sia per la notte che per il giorno, il migliore e il peggiore scenario operativo.

Migliore scenario = notturno, probabile minimo contrasto tra nave e ambiente

Peggior scenario = diurno/soleggiato, irraggiamento solare



Distanza target-osservatore  
500 m



Pro

la segnatura IR dell'U.N. calcolata per uno scenario definito non richiede riferimenti a un particolare tipo di minaccia e può essere verificata tramite misure al vero.

Contro

la pre-selezione degli scenari considera le variabili climatiche indipendenti tra loro, quindi gli scenari così definiti potrebbero essere non realistici, inoltre non assicura che i valori minimi e massimi della segnatura IR ottenuti non siano “superati” in altre condizioni climatiche.

La nuova metodologia di analisi IR utilizza una base statistica di dati climatici che vengono campionati secondo una procedura sviluppata da D. Vaitekunas (Davis Eng. Ltd).

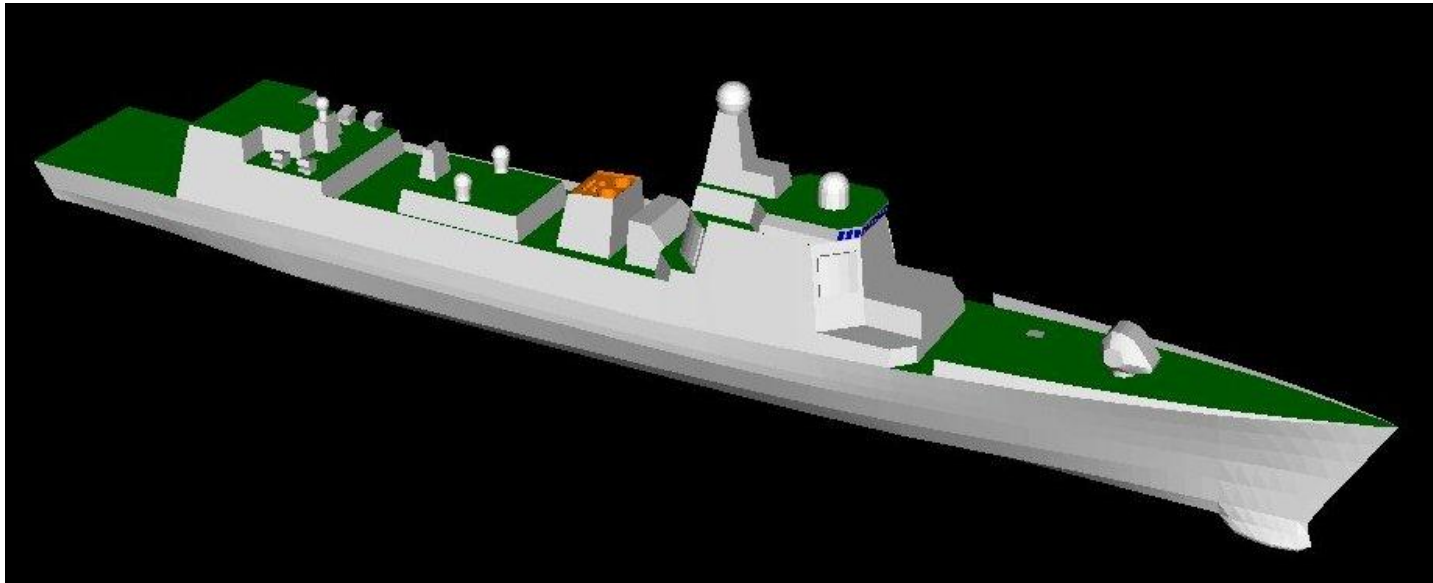


Costituisce un metodo all'avanguardia per analizzare la segnatura dell'U.N. e le sue prestazioni stealth



L'analisi statistica dell'ambiente marino garantisce la completezza degli scenari considerati e consente di definire una procedura standard per la scelta degli stessi che può essere utilizzata in studi e progetti successivi.

L'analisi IR è stata condotta su un modello generico di DDG presente nella libreria di ShipIR, illustrato nella figura seguente.



Sono state studiate due configurazioni propulsive illustrate nella tabella seguente:

Velocità	Diesel propulsione	TAG	Diesel generatori
	12.4 MW	43.4 MW	2.5 MW
18 kn	2 x	-	3 x
29 kn	-	2 x	3 x

Sono state studiate due versioni del modello: una senza sistemi di soppressione (base) e una con eduttori passivi per i condotti dei gas di scarico (IRSS=IR Suppression System), abbinate alle due configurazioni propulsive per un totale di quattro combinazioni:

- DE (base)
- DE (IRSS)
- GT (base)
- GT (IRSS)

I dati climatici utilizzati provengono dalle registrazioni della stazione del Servizio Mareografico Nazionale ubicata a Livorno, acquisite dal 2010 al 2015, per un totale di 43933 misure di temperatura aria, temperatura mare, umidità relativa, velocità e direzione vento.

Secondo la procedura messa a punto da D. Vaitekunas e basata sulla Principal Component Analysis, un metodo comunemente usato per identificare il più significativo insieme di dati a partire da un insieme più grande, è stato selezionato un numero di 100 set di dati meteo con cui si sono composti gli scenari ambientali nei quali è stata condotta l'analisi IR.

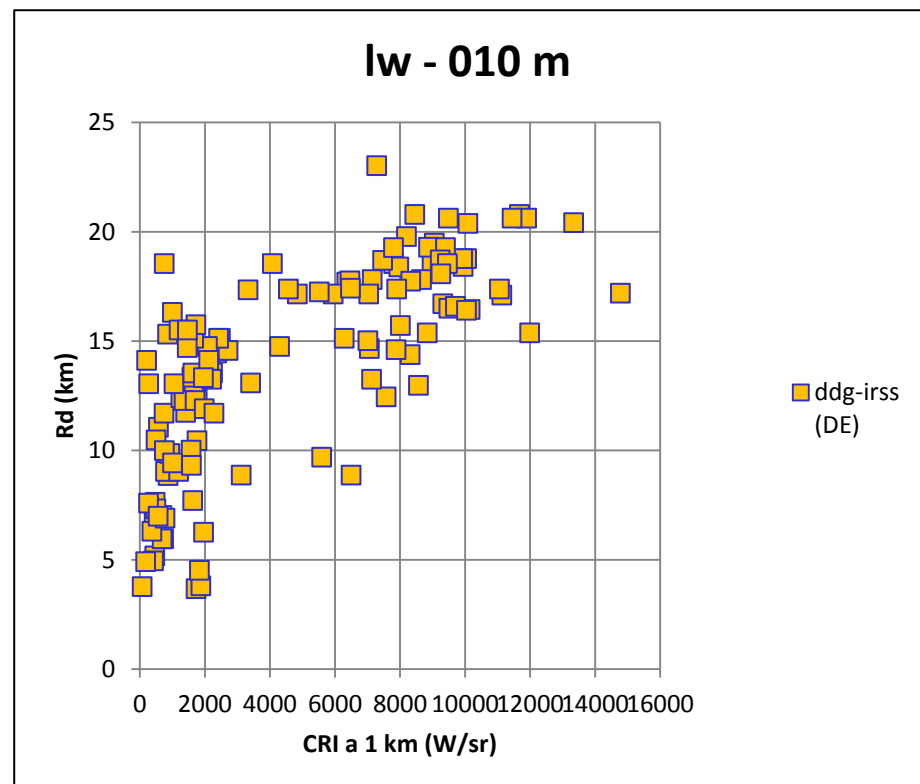
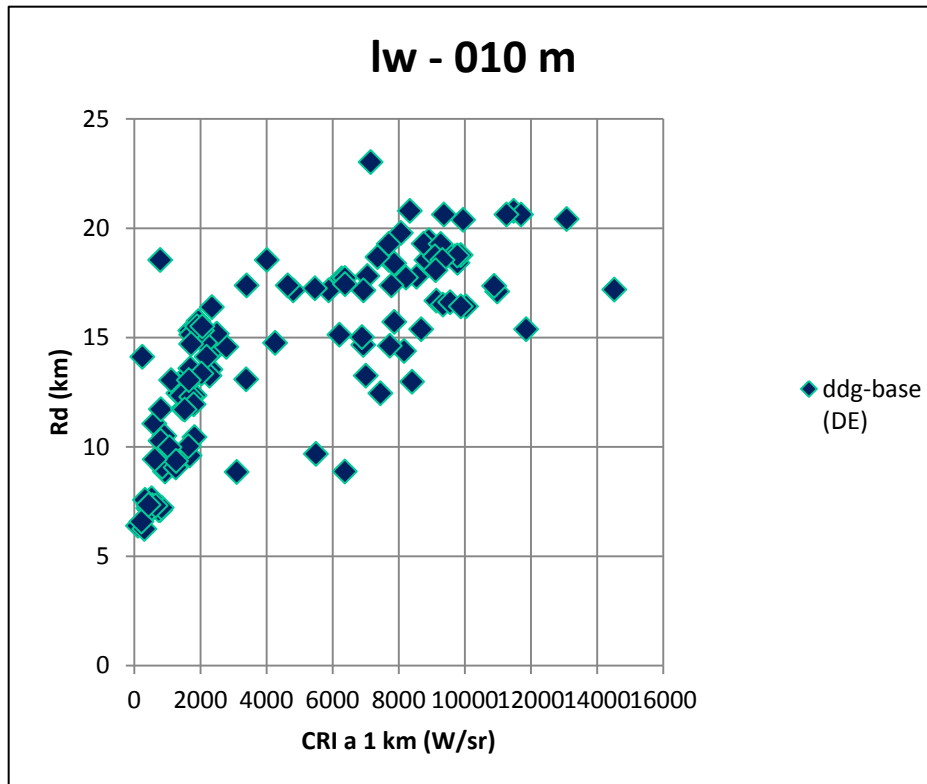
Gli scenari studiati nella presente analisi sono sintetizzati nella tabella seguente:

<b>Sito geografico</b>	1	Mar Mediterraneo (Livorno)
<b>Ambienti</b>	100	per sito
<b>Orari</b>	2	giorno, notte
<b>Configurazioni nave</b>	2	base, IRSS
<b>Velocità nave</b>	2	18kn, 29kn
<b>Minaccia</b>	2	LWIR/MWIR, sea-skimming
<b>Totale scenari</b>	1600	

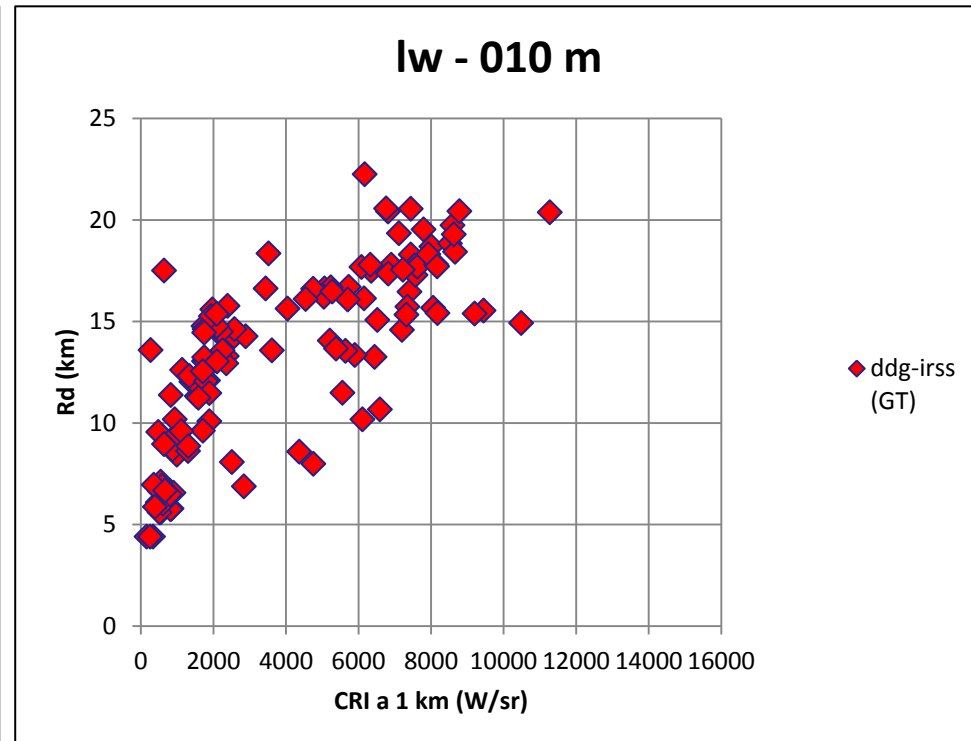
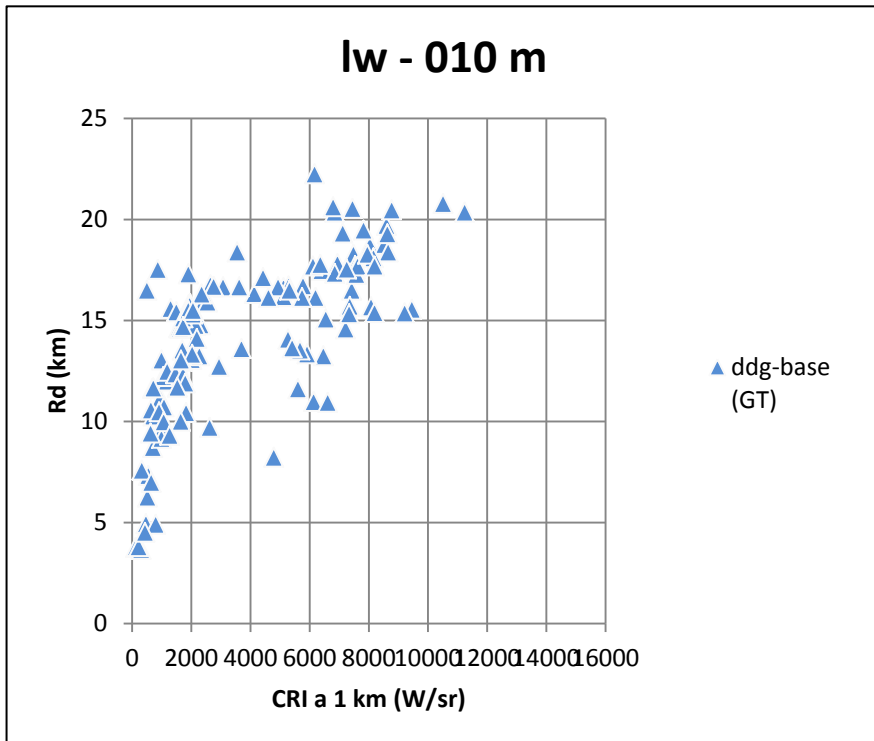
Le caratteristiche della minaccia (missile guidato IR, sea-skimming) e i criteri della detection utilizzati nell'analisi sono mostrati nella tabella seguente:

<b>Caratteristiche principali</b>	
<b>FOV</b>	12°
<b>Risoluzione</b>	256x256
<b>IFOV</b>	0.81 mrad
<b>Criteri di detection</b>	
<b>NETD</b>	0.1°C
<b>NER</b>	
LWIR (8-12 $\mu\text{m}$ )	0.03637 W/m <sup>2</sup> sr
MWIR (3-5 $\mu\text{m}$ )	0.006811 W/m <sup>2</sup> sr
<b>SNR</b>	5
<b>N. di pixels</b>	1
<b>N. di frames</b>	2

La figura seguente illustra il detection range (Rd) in funzione della segnatura totale dell'U.N. (intensità radiante di contrasto, CRI) per la minaccia sea-skimming nella banda LWIR per la versione base e con eduttori del DDG a 18 kn.



La figura seguente illustra il detection range (Rd) in funzione della segnatura totale dell'U.N. (intensità radiante di contrasto, CRI) per la minaccia sea-skimming nella banda LWIR per la versione base e con eduttori del DDG a 29 kn.



Nella tabella seguente mostriamo una sintesi per i risultati ottenuti per la velocità a 18 kn confrontando le diverse opzioni dell'analisi:

Analisi		% cambiamento Rd		
		18 kn		
		5%	50%	95%
giorno vs notte	lwir	-2%	40%	130%
	mwir	-15%	10%	270%
IRSS vs base giorno	lwir	-14%	-8%	-4%
	mwir	-40%	-10%	8%
IRSS vs base notte	lwir	-10%	0%	20%
	mwir	-82%	-70%	2%

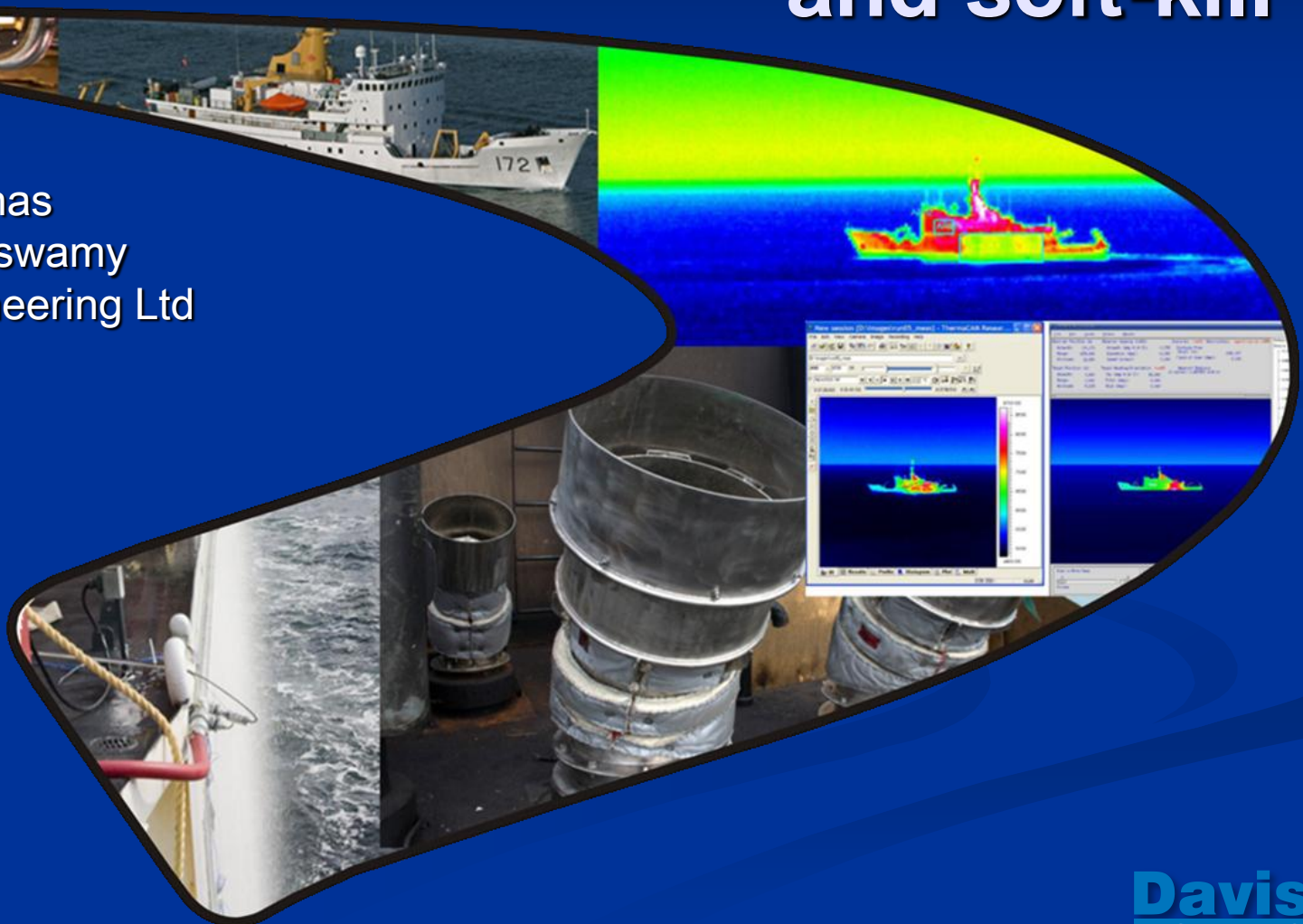
## CONCLUSIONI

Il metodo per analizzare la segnatura dell'U.N. sopra descritto si basa sull'analisi statistica dell'ambiente marino, caratterizzato attraverso un set di scenari ambientali rappresentativi del sito geografico operativo in modo da tener in conto in modo esaustivo le variazioni climatiche che influenzano la segnatura IR dell'U.N. e offrire una maggiore affidabilità nelle valutazioni delle prestazioni stealth dell'U.N.

# Tools and methods to analyze the effectiveness of signature reduction and soft-kill

David A. Vaitekunas  
Srinivasan Ramaswamy  
W.R. Davis Engineering Ltd  
Ottawa, Canada

*May 31<sup>st</sup> 2017*



# Outline

- Some Background / History
- 3D Flare Particle Model
- Advanced MWIR Seeker
- Sample Fly-ins

# Development Milestones

- Start of project – 1990
- ShipIR (V1) – 1992
- NTCS (V2) – 1995
  
- NATO Ship IR Model Workshop – 1994  
(ShipIR/NTCS adopted as common NATO tool)
- ShipIR adopted by USN for IR Cruise Missile Simulation – 1996

# Validation and Accreditation

- Validation (NATO):
  - 1999: US-NRL Panel Validation (SPIE 3699)
  - 2003: NATO SIMVEX (SPIE 5075)
  - 2005: ShipIR v3.2 (SPIE 6329)
- Accreditation (USN):
  - 2001: DDG-51 Live Fire Test & Evaluation
  - 2004: DDX Preliminary Design Review (PDR)
  - 2005: DDX Critical Design Review (CDR)
  - 2005: DDX Initial Vulnerability Assessment

# Key Model Features

- End-to-end analytical treatment of signature (geometry, materials, meteorology, temperature, radiance)
- Full-spectral analysis (per node/facet)
- Multi-bounce radiation (diffuse / specular)
- Fast and accurate exhaust plume IR model (semi-empirical, custom multi-volume / multi-surface raytrace / rendering)
- Extensive use of OpenGL (in hardware)
- Active Support (25+ years)
- turn-key for Navy End Users (climate API, ship-engine API, operational scenarios)

# More Recent Events

- May 2013: Climatic Data Analysis and IR Susceptibility Analysis (SPIE Baltimore)
- Oct 2013: NATO SET-202 Specialist Meeting Naval Platform Signature Management
- Dec 2013: Invited to speak at SCI-224 Meeting (Quebec) – Joined the group as a *special guest*
- Mar 2016: Final Meeting of SCI-224 Meeting (Rennes)
- Dec 2016: First Meeting of SCI-ET-024 (Paris) – proposed a common NATO tool using ShipIR/NTCS and SADM (Ship Air Defence Model from BAE Australia)
- May 2017: 2<sup>nd</sup> Meeting of SCI-ET-024 (Washington) – Training session on SADM and ShipIR/NTCS – using generic DDG model in Mediterranean (Italian Ligurian Sea)

# 3D Particle-Based Flare Model (v3.7)

- Based on Tukey distribution:
  - Ref: [https://en.wikipedia.org/wiki/Tukey\\_lambda\\_distribution](https://en.wikipedia.org/wiki/Tukey_lambda_distribution)
  - after American Mathematician John Wilder Tukey (1915–2000)
  - Popular in simulating network traffic (i.e., fat-tail distributions)
- Flare Model Inputs:
  - Area (m<sup>2</sup>)
  - Shape distribution parameter ( $\lambda$ )
  - No. of particles – new (sample points)
  - Flare temperature (blackbody-equivalent)
  - Flare spectral emission
  - Flare temporal burn characteristics
- Results (to-date):
  - Extensive analysis / study of particle distribution (Ns, IFOV,  $\lambda$ )
  - Tools to compute Coverage (%) and radial signature distribution (W/sr/m)
  - Custom rendering (z-buffering, 3D-particle rendering w/ alpha-blending)
  - Fitted to actual measurements of Chemring TALOS IR rounds

# Flare Characterization Metrics

Radial distribution of:

- Signature (W/sr/m)

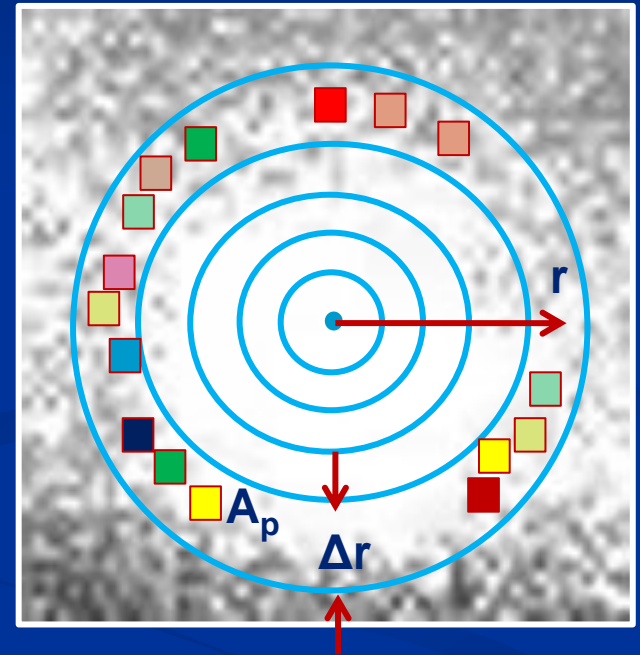
$$J_r(r) = \left( \frac{1}{\Delta r} \right) \cdot \sum_{bin\ pixels} L_i \cdot A_p$$

- Average Radiance  $L_\mu$  (W/m<sup>2</sup>/sr)

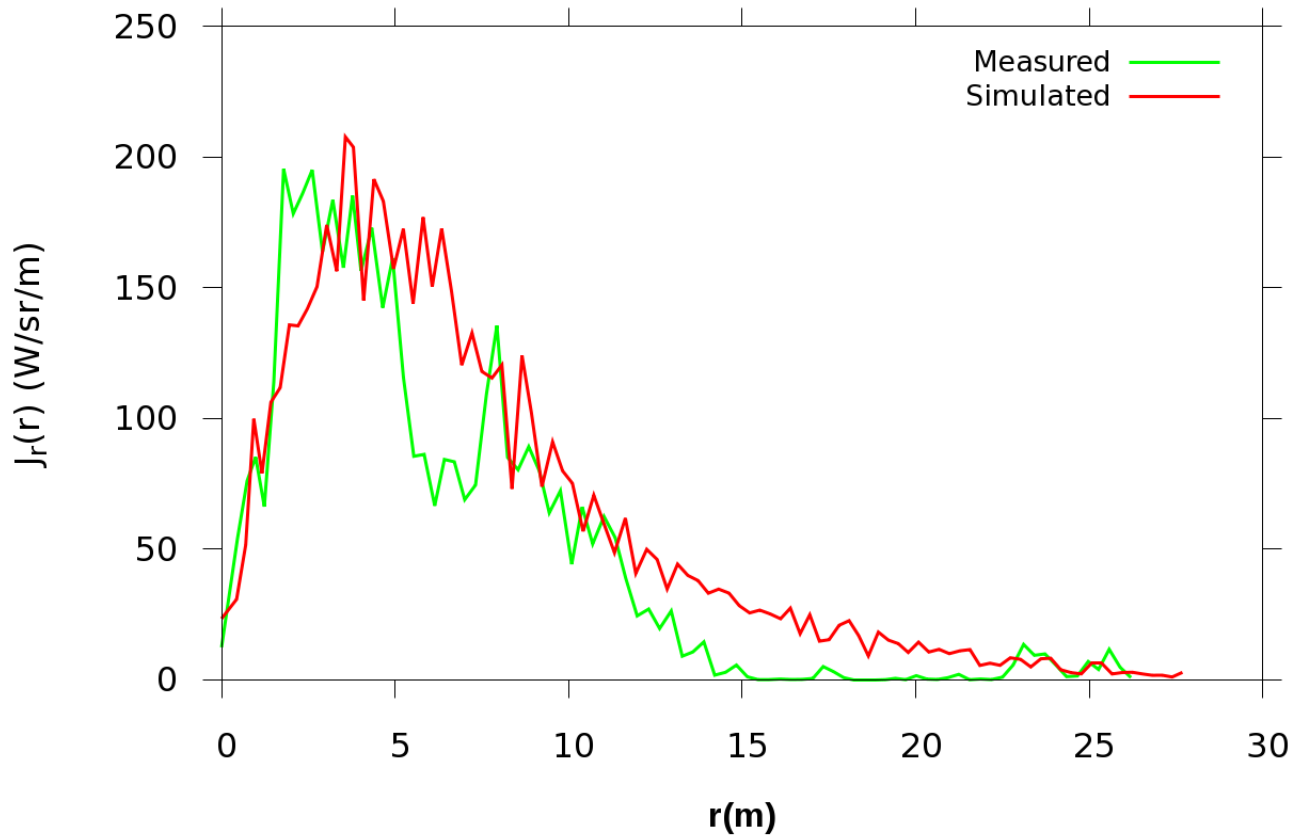
$$L_\mu(r) = \left( \frac{1}{N_{p,bin}} \right) \cdot \sum_{bin\ pixels} L_i$$

- Std. deviation of radiance  $L_\sigma$  (W/m<sup>2</sup>/sr)

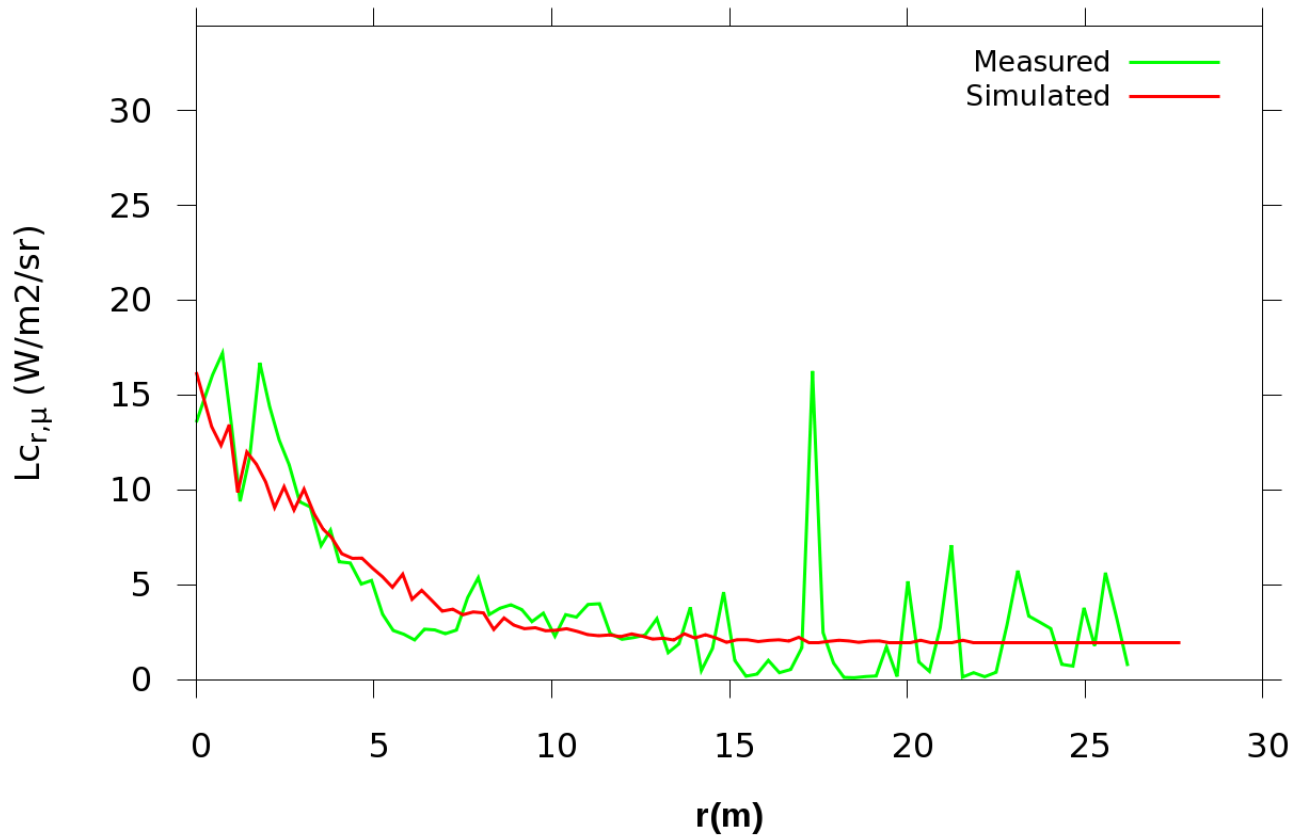
$$L_\sigma(r) = \sqrt{\left( \frac{1}{N_{p,bin}} \right) \sum_{bin\ pixels} [L_i - L_\mu]^2}$$



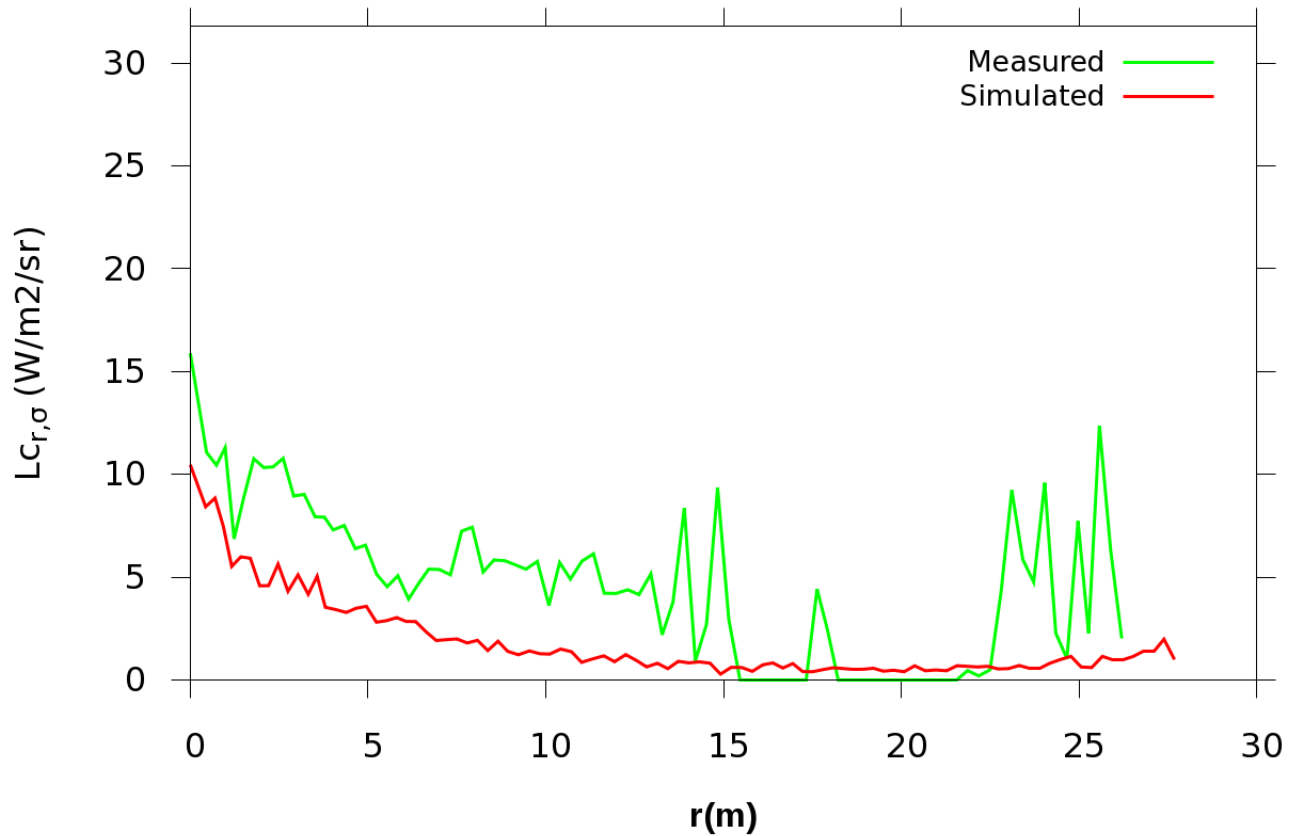
### Adjusted Tukey Flare (FRM 248 (Mid-wave), $T = 580$ K, Area = $110 \text{ m}^2$ , $\lambda = -0.25$ )



**Adjusted Tukey Flare**  
(FRM 248 (Mid-wave),  $T = 580$  K, Area =  $110 \text{ m}^2$ ,  $\lambda = -0.25$ )



**Adjusted Tukey Flare**  
(FRM 248 (Mid-wave),  $T = 580$  K, Area =  $110 \text{ m}^2$ ,  $\lambda = -0.25$ )



# Adaptive Track Gate (v3.6)

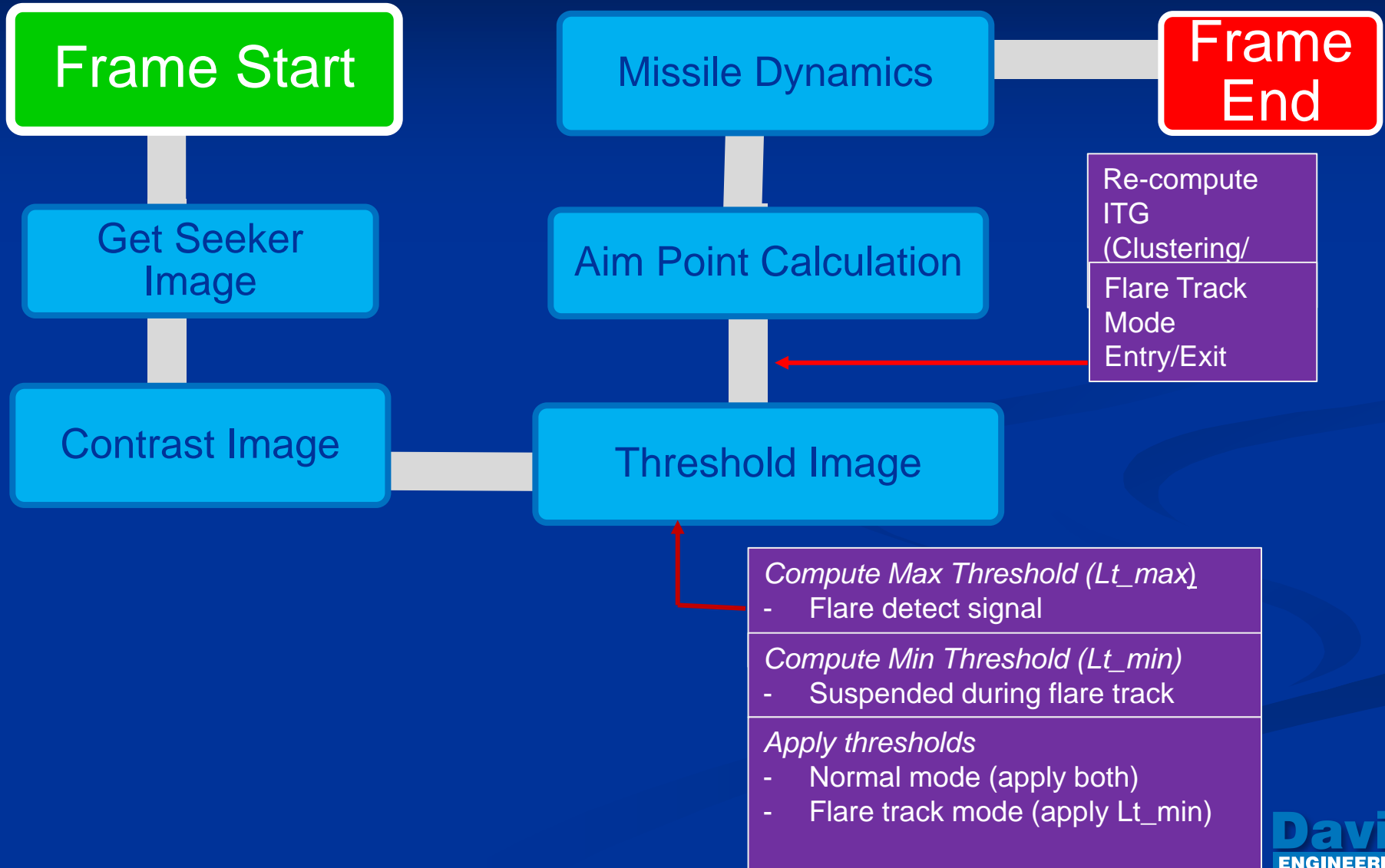
## ■ Dynamic thresholds:

- Maximum Threshold ( outlier rejection → flare detection)
- Minimum Threshold (quantiling + optimum selection)

## ■ Target Selection:

- Inner Track Gate (ITG):
  - Clustering
  - Knapsack
  - Flare Track Mode (entry/exit)
- Outer Track Gate (OTG) ← buffer region

# ATG Seeker Framework



# Sample Fly-Ins

# Moderate Resolution Sensor

Basic Characteristics	
Field of View	8° x 8°
Resolution	256x256
IFOV (mrad)	0.5454
Sampling rate (Hz)	25

Detection Criteria	
NETD	0.1 °C
SNR	5
No of pixels	1
No of frames	2

Rosell and Wilson

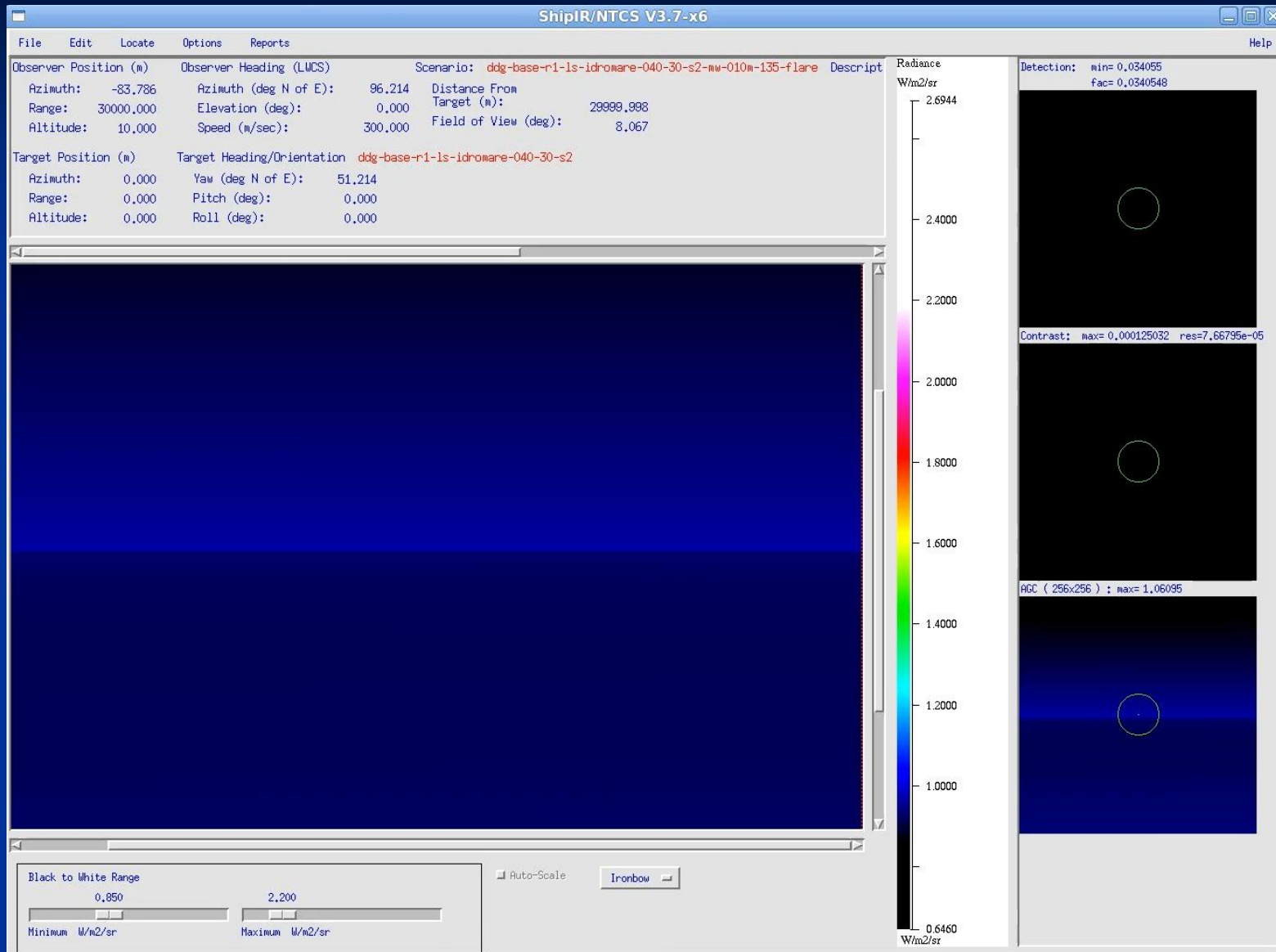
$$L_{c,det} = SNR \times NER$$

$$NER = f(NETD, \lambda)$$

Detection (Lock-on):

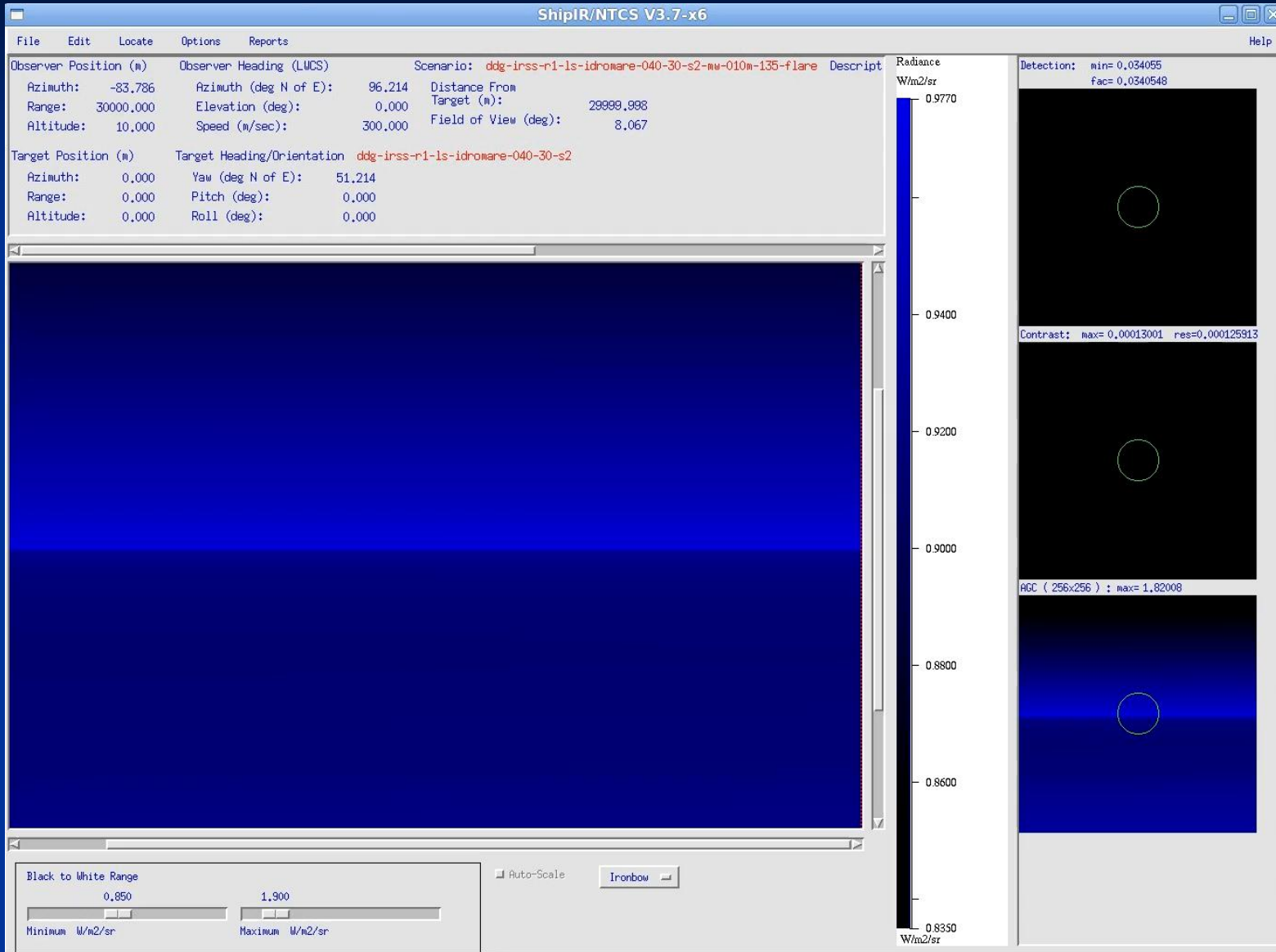
- $L_{c,max} > L_{c,det}$
- on  $N_p$  (pixels)
- for  $N_f$  (frames)

# Baseline (no IRSS), High $R_d$ climate



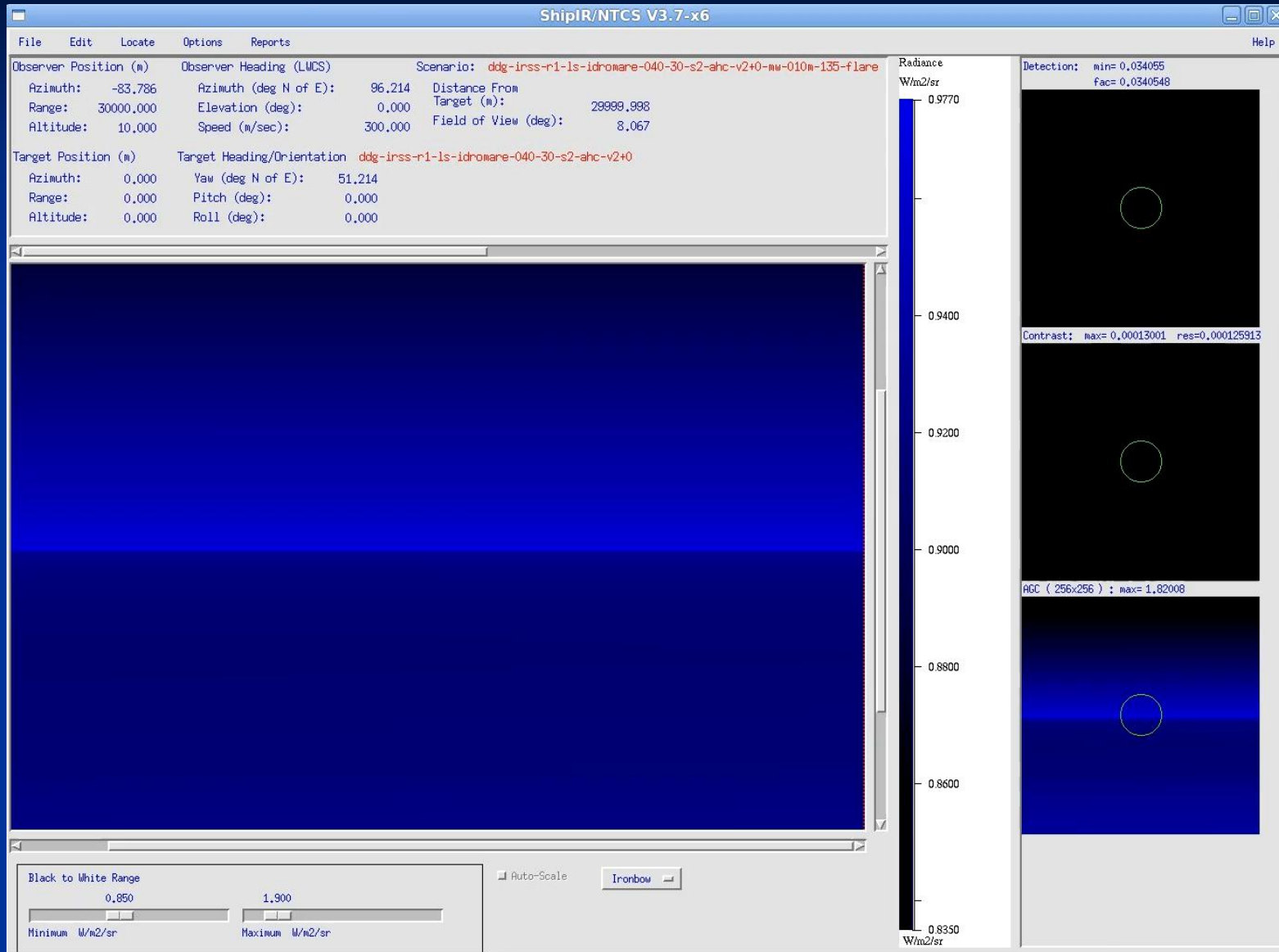
Play

# IRSS, High $R_d$ climate



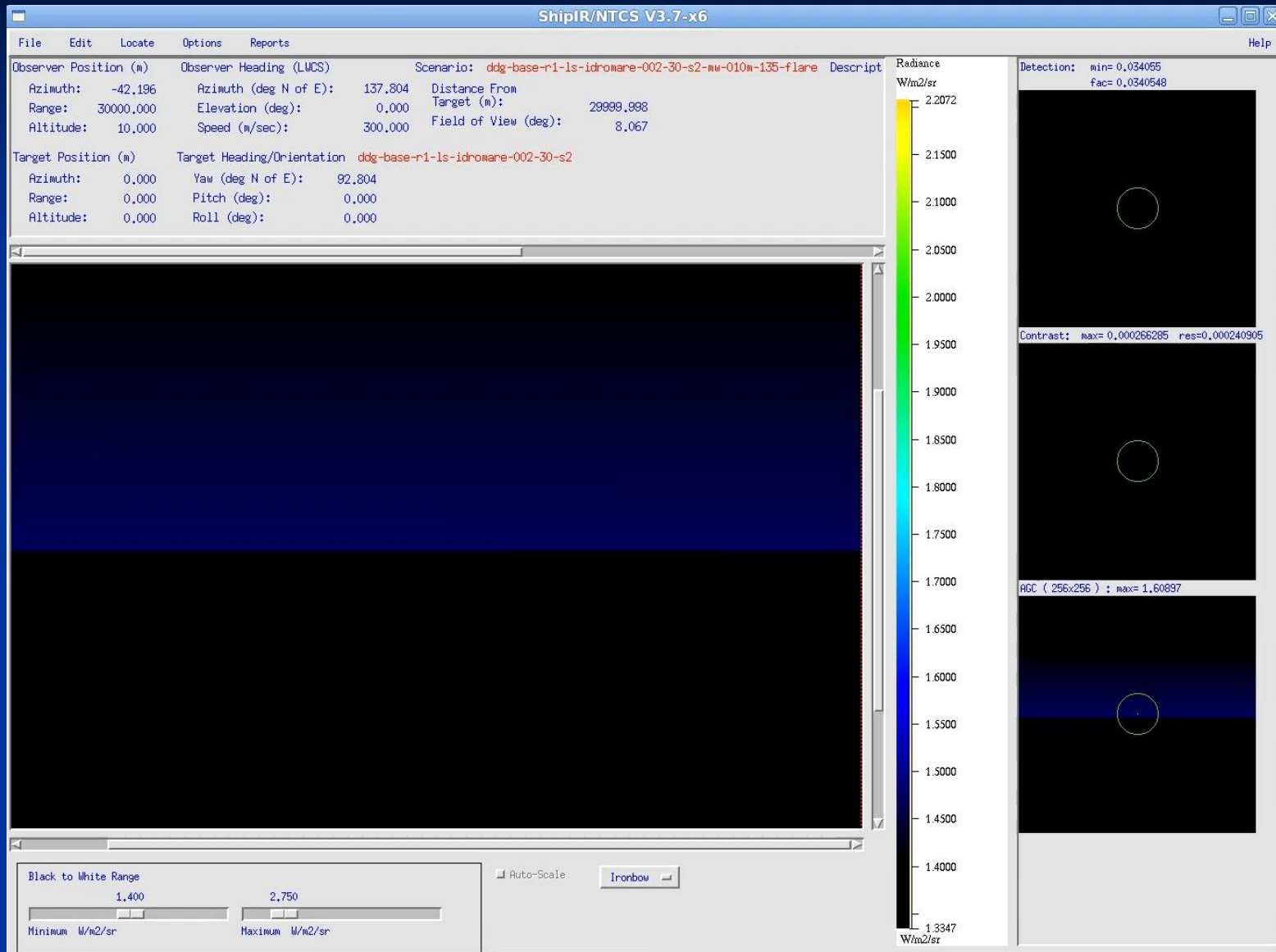
Play

# IRSS + AHC, High $R_d$ climate



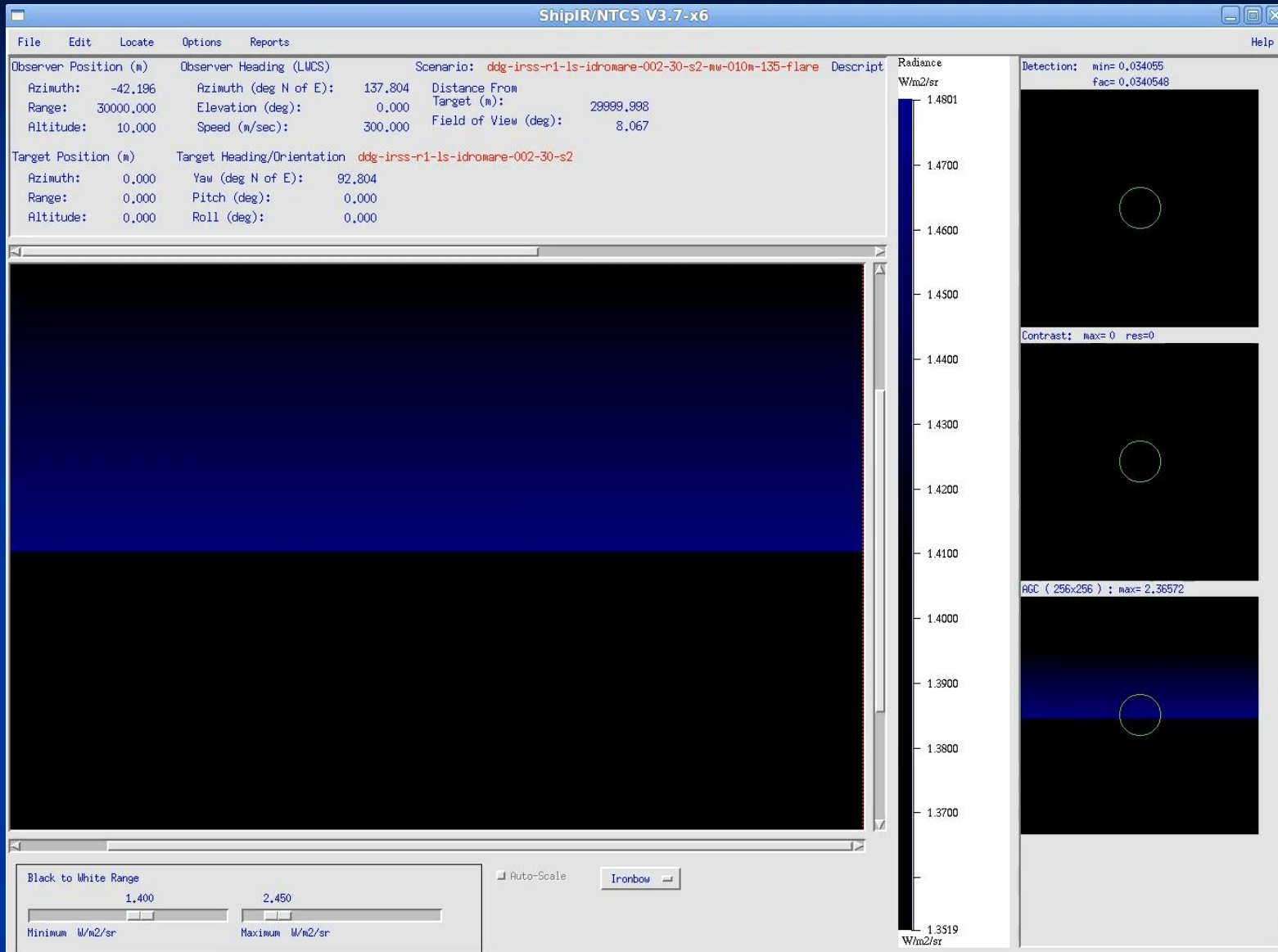
Play

# Baseline (no IRSS), Lower $R_d$ climate



Play

# IRSS, Lower $R_d$ climate



Play



# Points of Contact

- David A. Vaitekunas (PhD), P.Eng.  
Principal Engineer, IR Software Development  
Tel: [+1 613 748 5500](tel:+16137485500) (ext. 165)  
e-mail: [dvaitekunas@davis-eng.com](mailto:dvaitekunas@davis-eng.com)
- Srinivasan Ramaswamy (PhD)  
Senior Scientist, IR Software Development  
Tel: [+1 613 748 5500](tel:+16137485500) (ext. 195)  
e-mail: [sramaswamy@davis-eng.com](mailto:sramaswamy@davis-eng.com)

# End of Presentation

# EVOLUZIONE DELLE TECNOLOGIE IN AMBITO RCS

*La segnatura radar ed elettroottica delle moderne unità navali:  
valenza, metodi per il controllo e sviluppi tecnologici*

**CISAM, San Piero a Grado (Pisa), 31/05/2017**

Riccardo Neri, Giovanni Percivale

## Introduzione



# Sommario

- **La storia e le esperienze maturate**
- **Sistemi di predizione**
- **Sistemi di misura**
- **Conclusioni**

**LA STORIA**

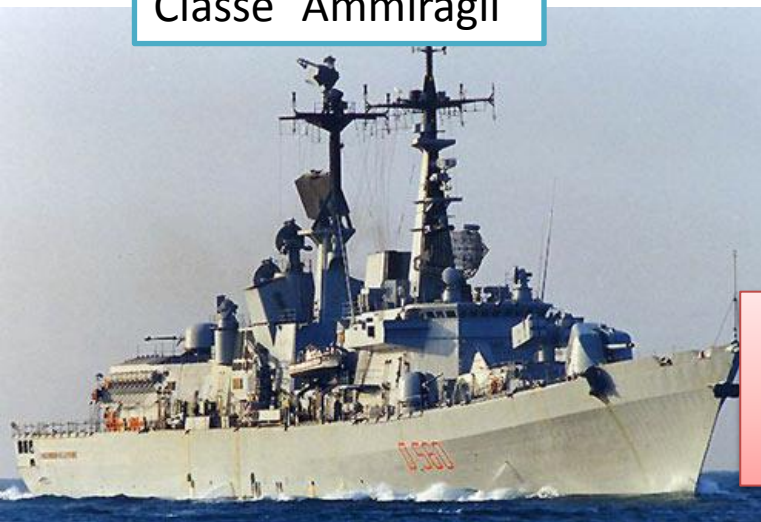
**E**

**LE ESPERIENZE MATURATE**

## 20° secolo

*Le UU.NN. dello scorso secolo non vennero progettate con criteri di controllo della RCS*

Classe "Ammiragli"



*Pareti a 90° verticali  
Molti oggetti in vista  
Cavità*

Classe "Maestrale"



Classe "Minerva"

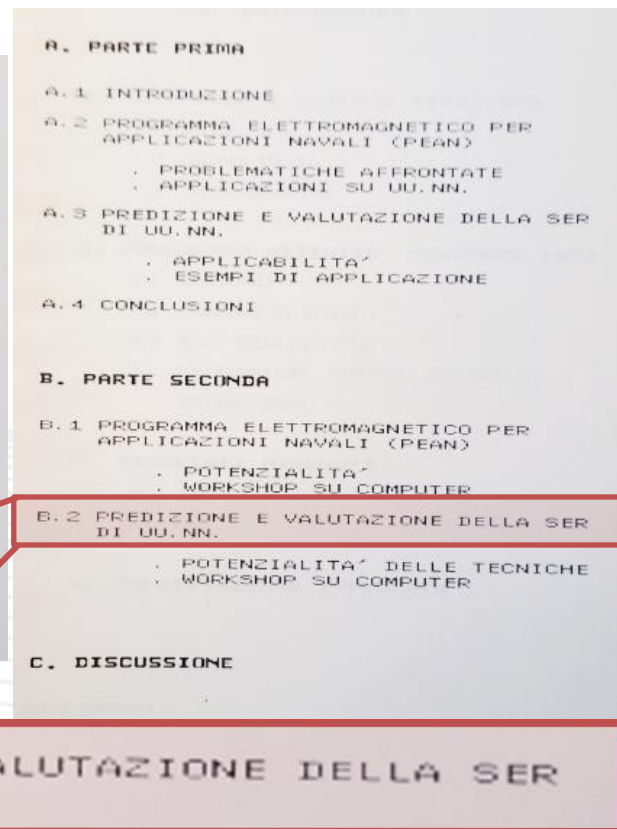
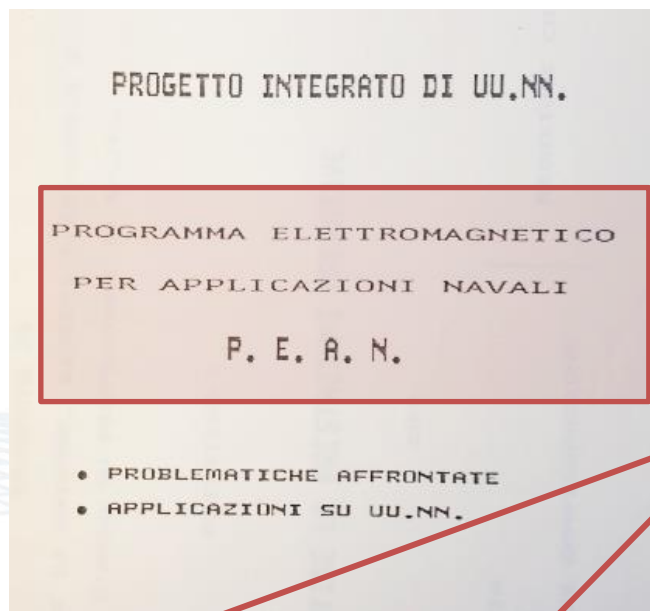
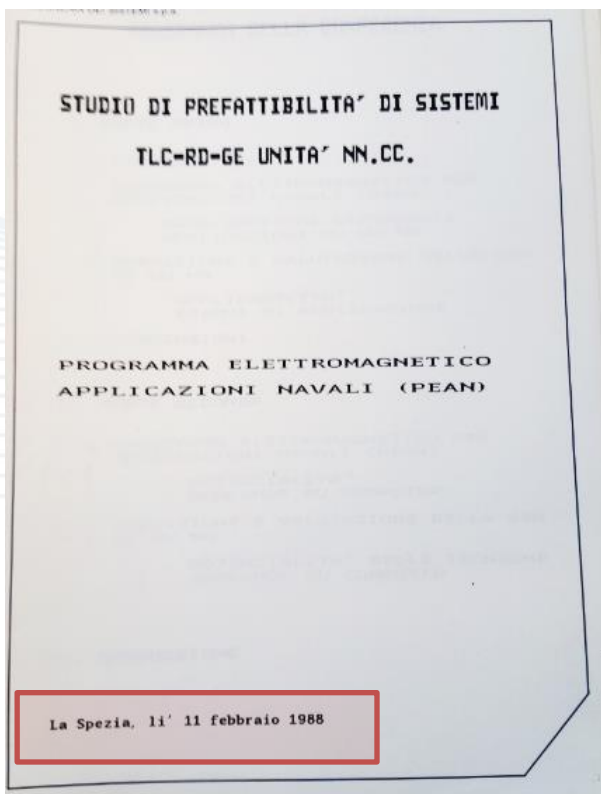


# Impatto del progetto RCS: nuove forme

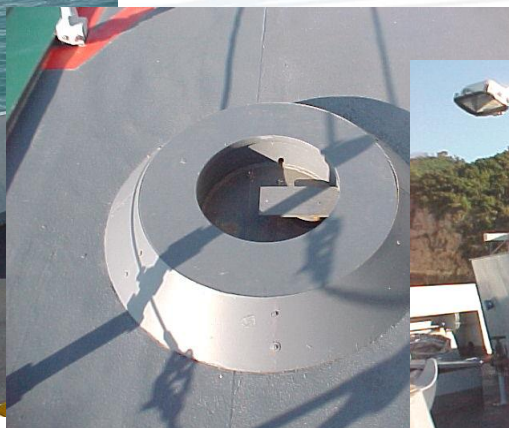
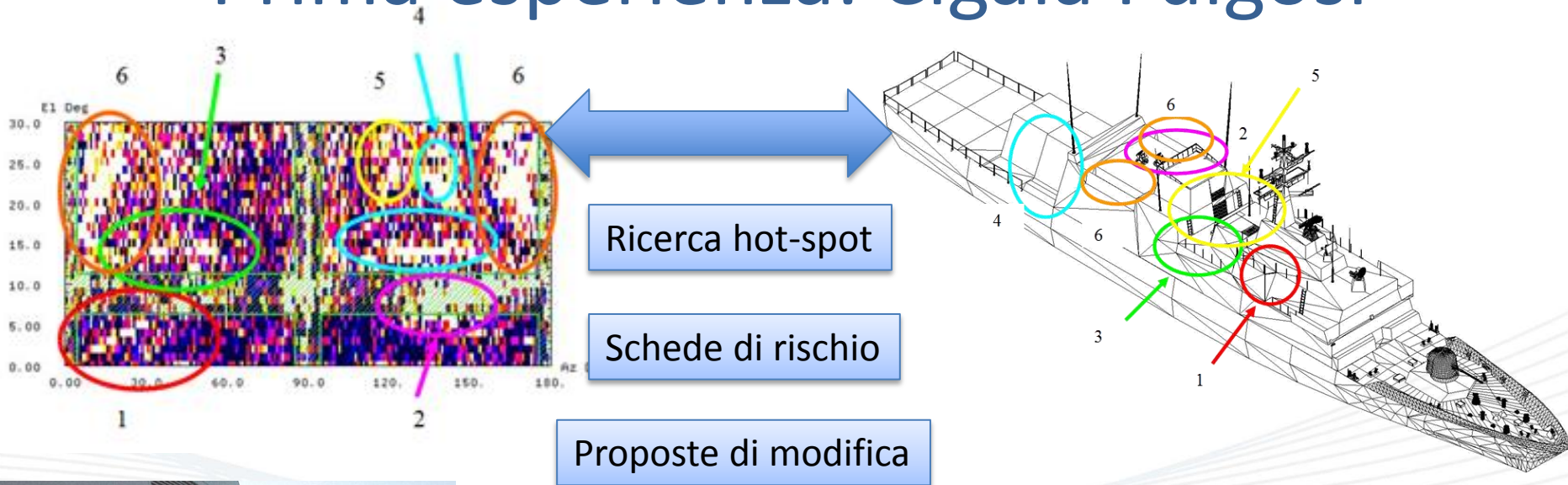


## Fine anni '80 - inizi anni '90

- Iniziano attività di collaborazione tra IDS e MMI
- Valutazione di codici di predizione per il calcolo della SER
- Predizione SER di UUNN esistenti (Audace, Garibaldi, ...)



## Prima esperienza: Cigala Fulgosi



# Programmi HORIZON e FREMM (1/2)

Mascheramenti basamenti componenti



- Prima volta del requisito
- Processo di controllo
- Verifica a bordo dell'allineamento con il progetto

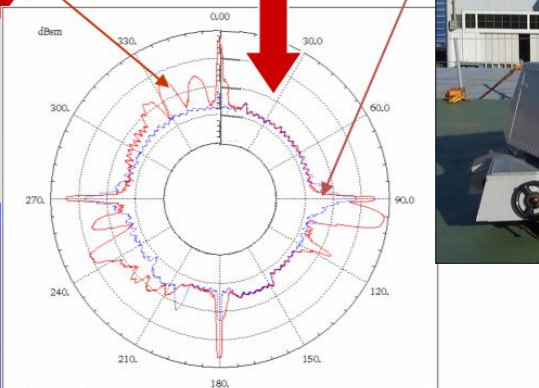
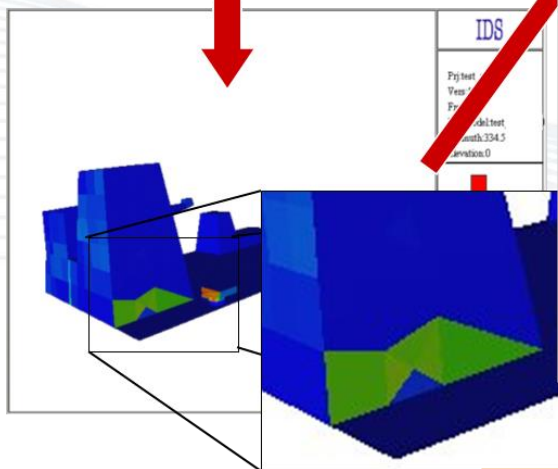
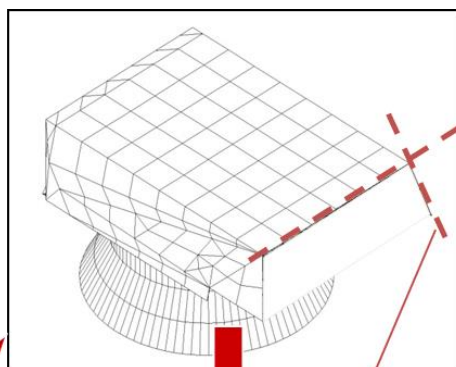
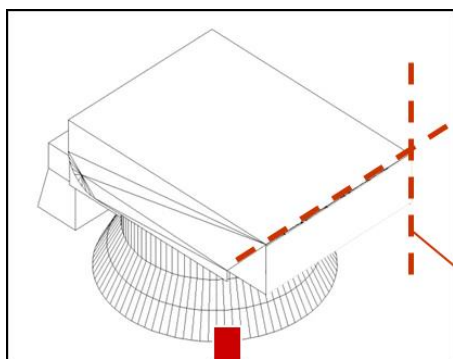


Chiusura delle aperture a scafo



Shaping delle strutture nave

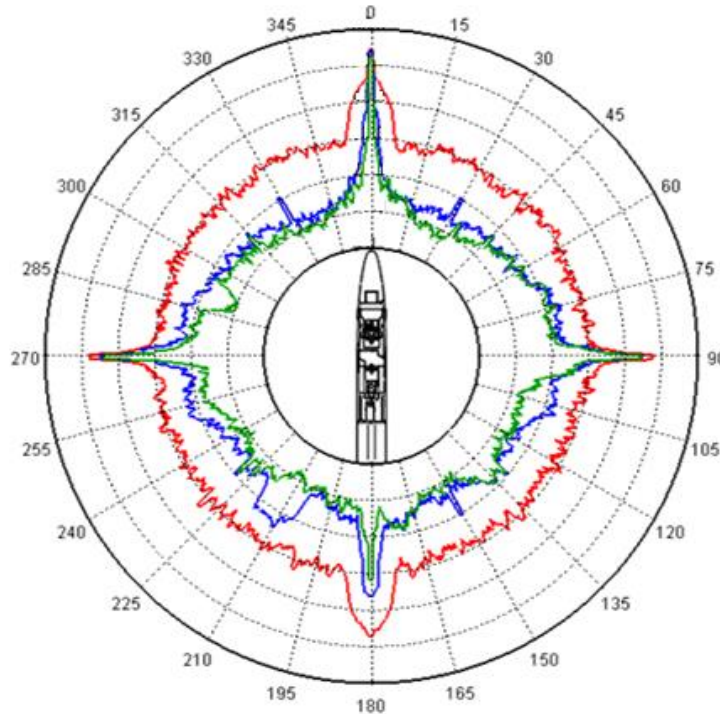
## Programmi HORIZON e FREMM (2/2)



Dove possibile l'industria ha agito anche sul SdC

## Lesson learned: il sistema di combattimento

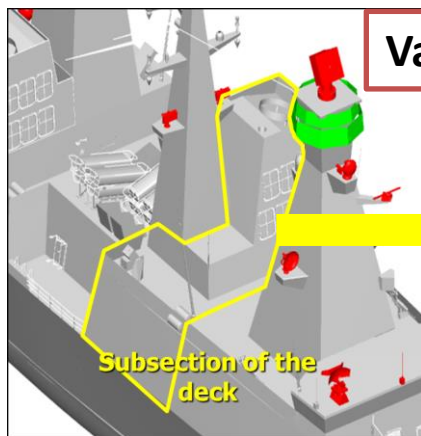
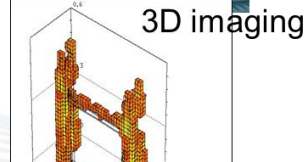
L'ottimizzazione della sovrastruttura ha portato il livello RCS al di sotto di quello generato dal CS e allestimento.



- nave allestita
- sovrastrutture complete (senza CS ed allestimento)
- sovrastrutture pulite (senza varee e basamenti, ....)

La moderna introduzione dell'albero integrato (o più in generale del topside integrato, oggetto anche di recenti programmi di ricerca) con sistemi radianti a facce fisse, va nella direzione di un ulteriore miglioramento della segnatura Radar.

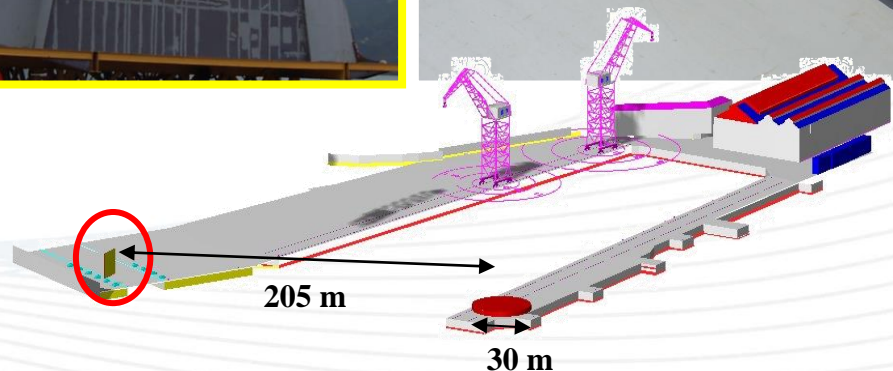
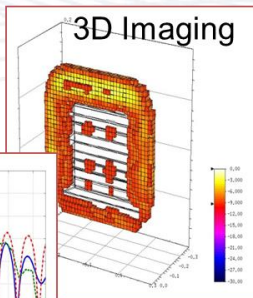
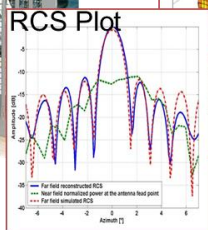
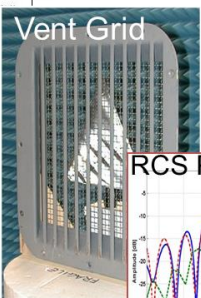
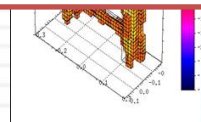
# Progetti di ricerca («nave invisibile»)



**Valutazione tolleranze costruttive**



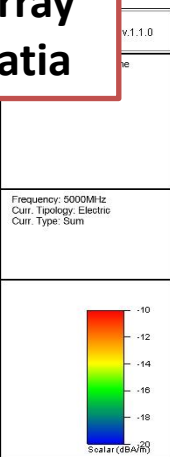
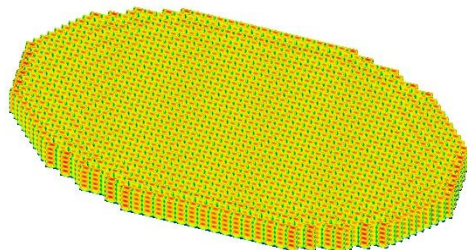
**Analisi normalizzati**



**Aggiornamento del Documento SMM-198/R di MARISTAT S.P.M.M. “Norme per la progettazione e realizzazione di Unità navali di superficie a SER controllata” del 1997**

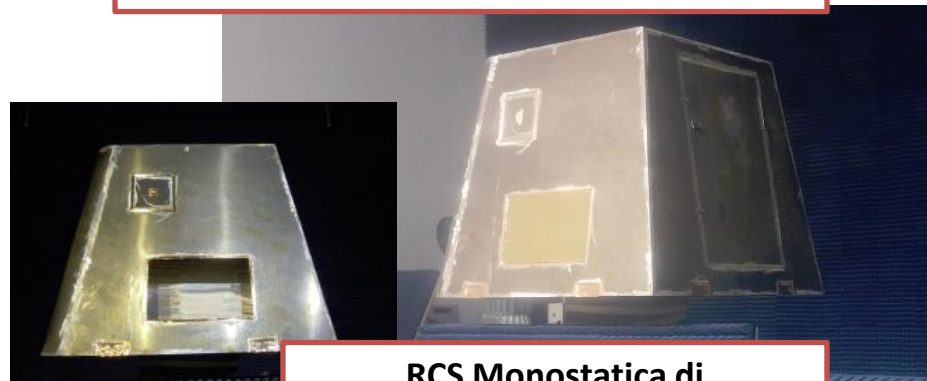
# Progetti di ricerca («alberi integrati»)

**Segnatura RADAR di array planari installati a paratia**



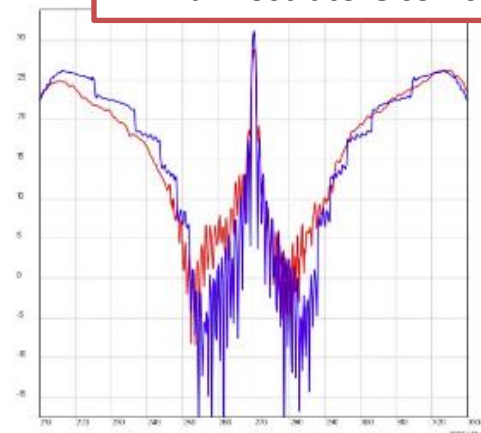
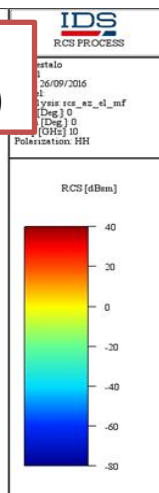
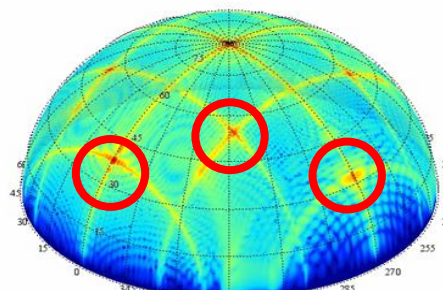
**Array Planare in banda C**

**Segnatura RADAR di dimostratore comprensivo di FSS e cavità**



**RCS Monostatica di dimostratore con cavità**

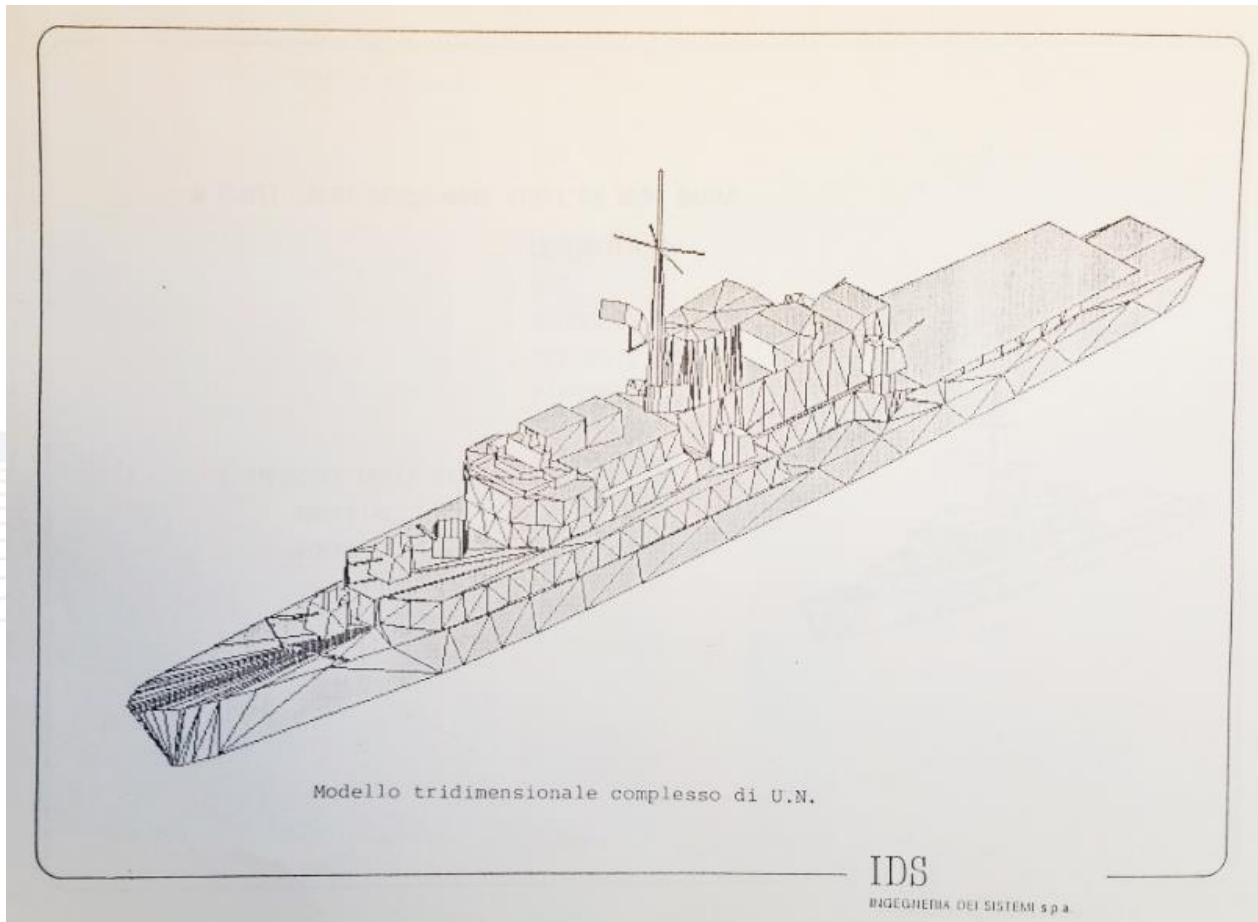
**RCS Monostatica di antenna fuori banda (Banda X)**



# SISTEMI DI PREDIZIONE

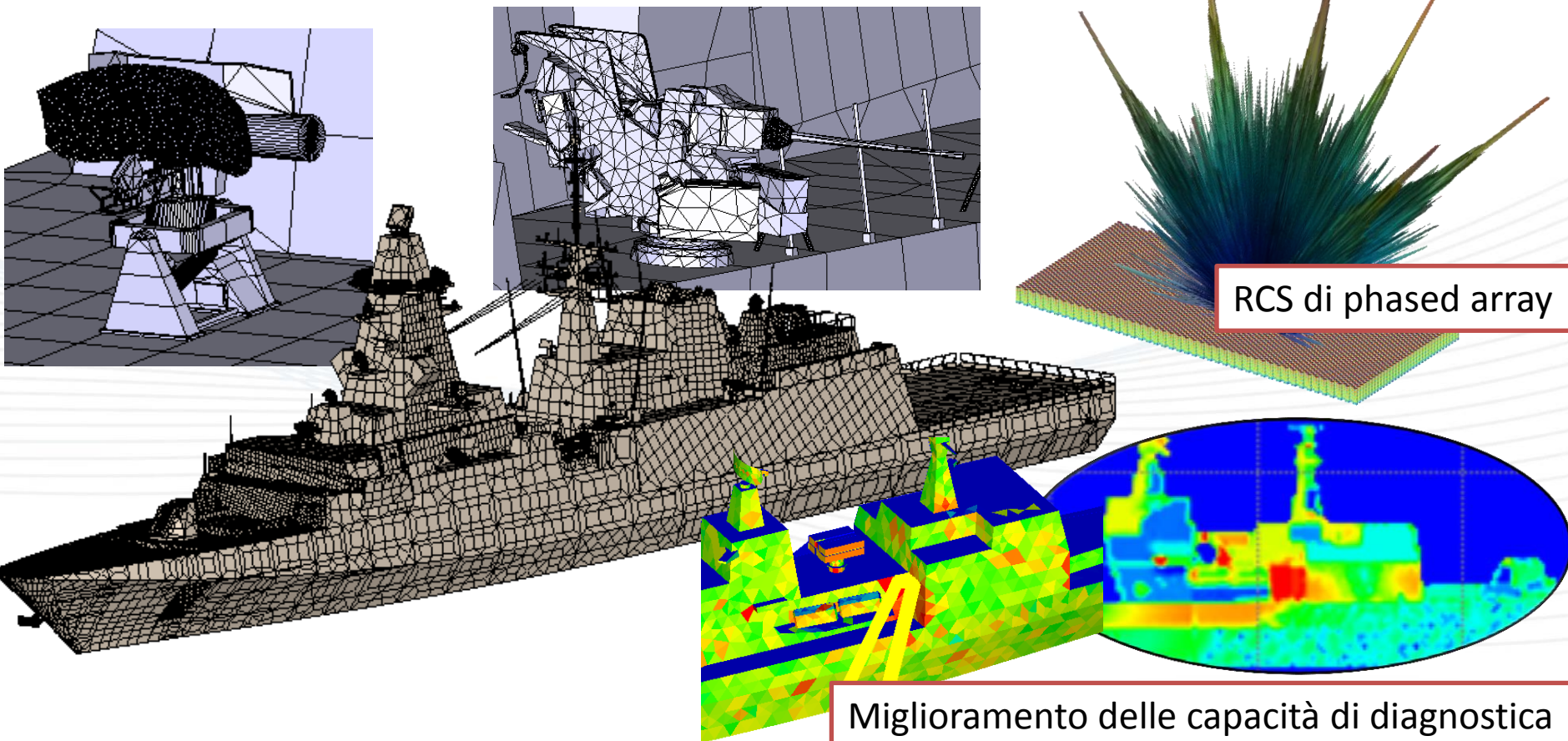
# Evoluzione delle simulazioni (1/3)

Modelli semplici in spazio libero di sovrastrutture e item principali

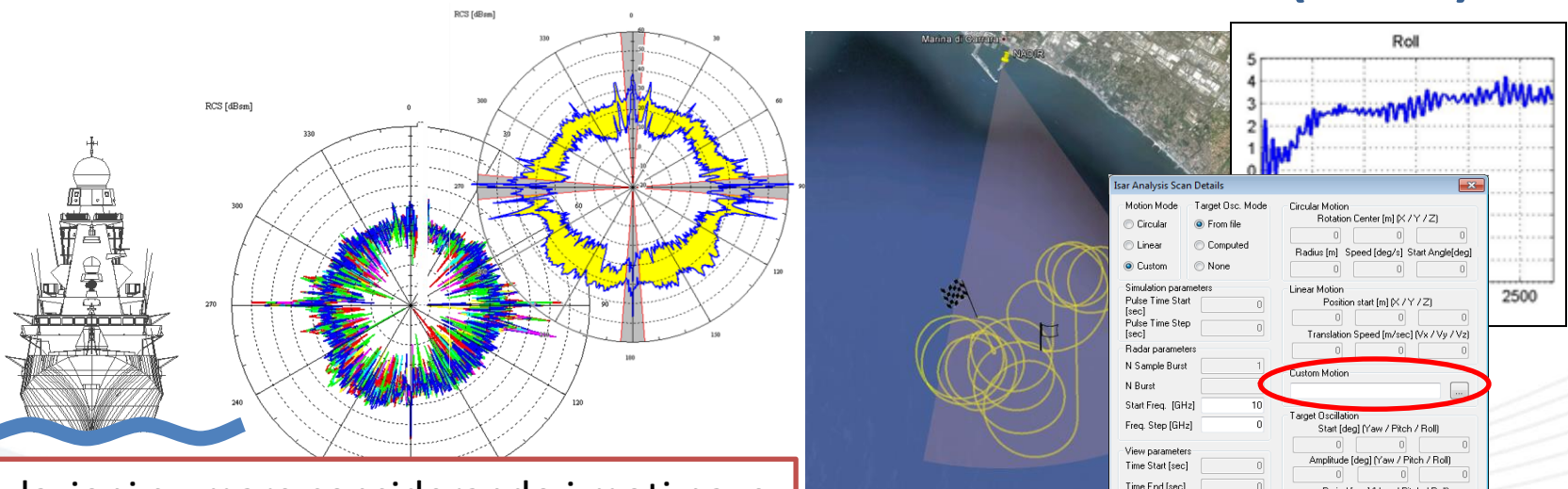


## Evoluzione delle simulazioni (2/3)

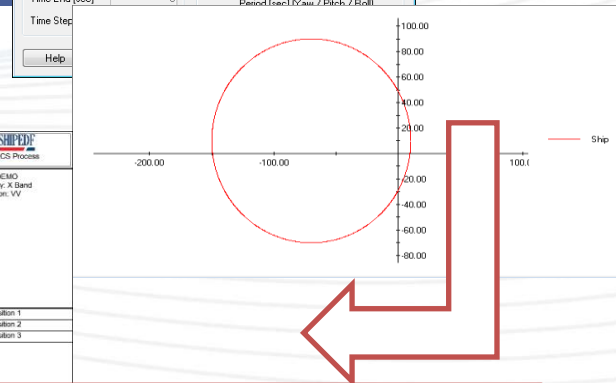
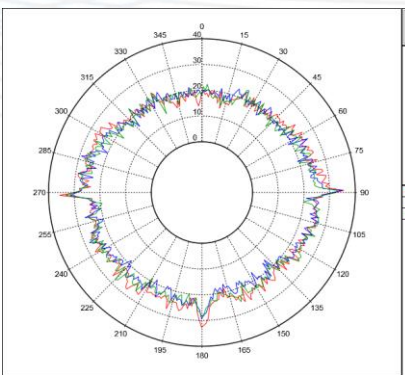
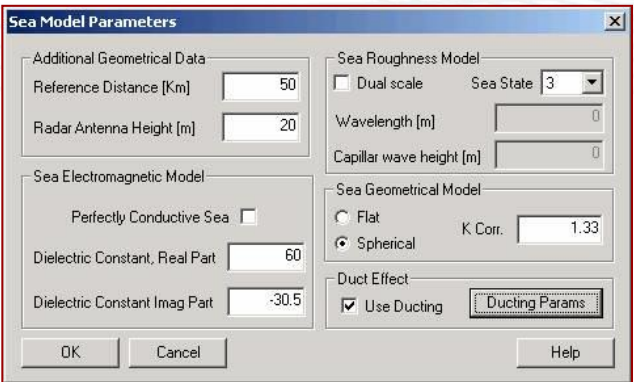
Modelli sempre più complessi ed accurati, introduzioni di materiali



# Evoluzione delle simulazioni (3/3)



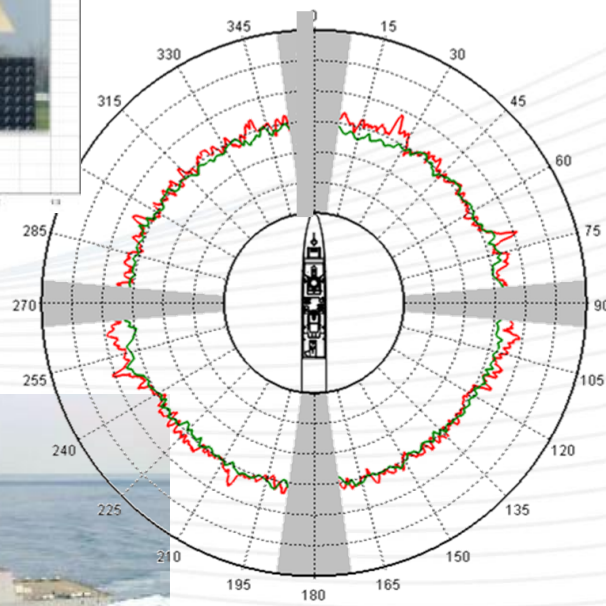
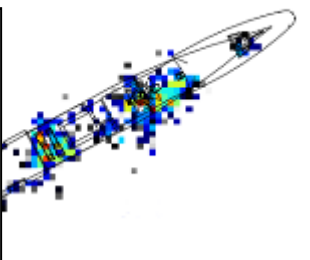
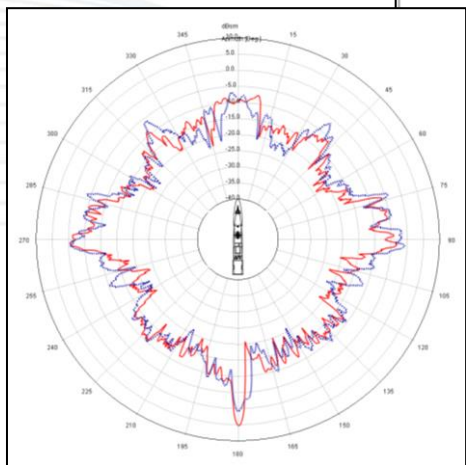
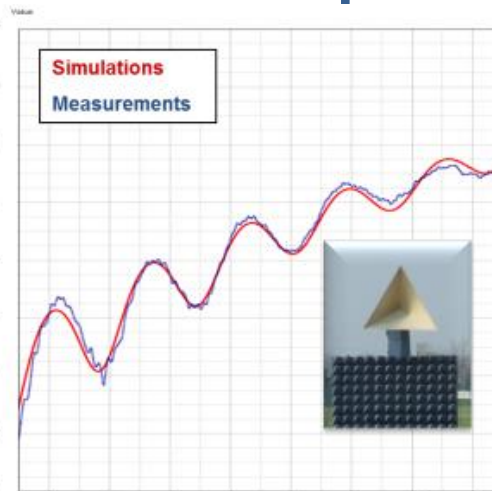
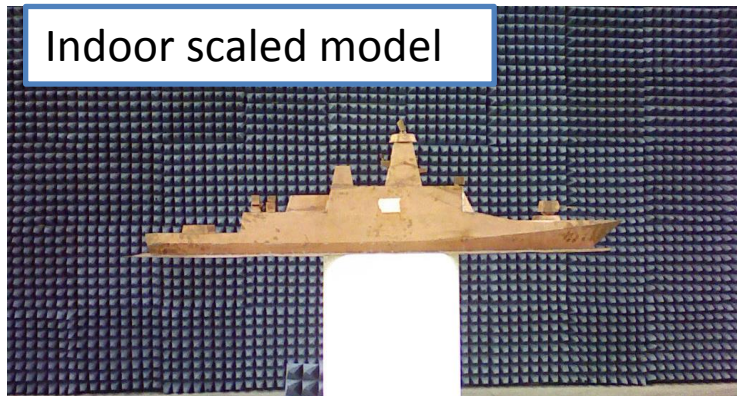
Simulazioni su mare considerando i moti nave



Riproduzione delle misure

# Validazione sistemi di predizione

Indoor scaled model



Outdoor real ship

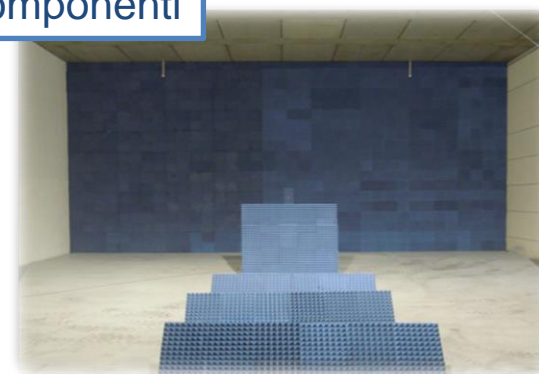
# SISTEMI DI MISURA

## Sviluppo capacità di misura RCS negli anni

Misura di materiali



Misure di componenti

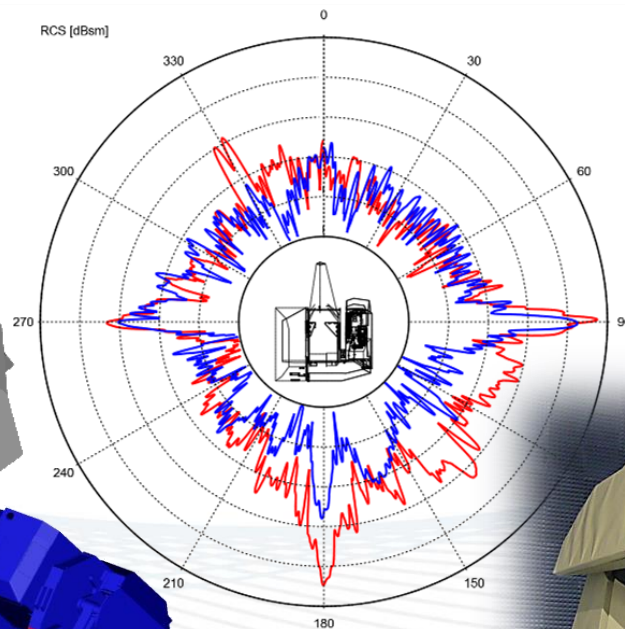
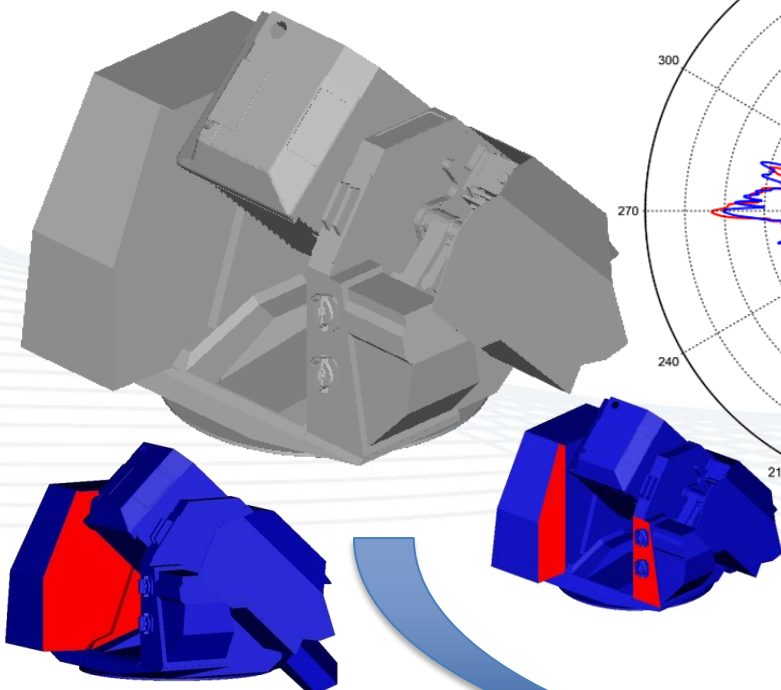


Misure di navi in ambiente rilevante

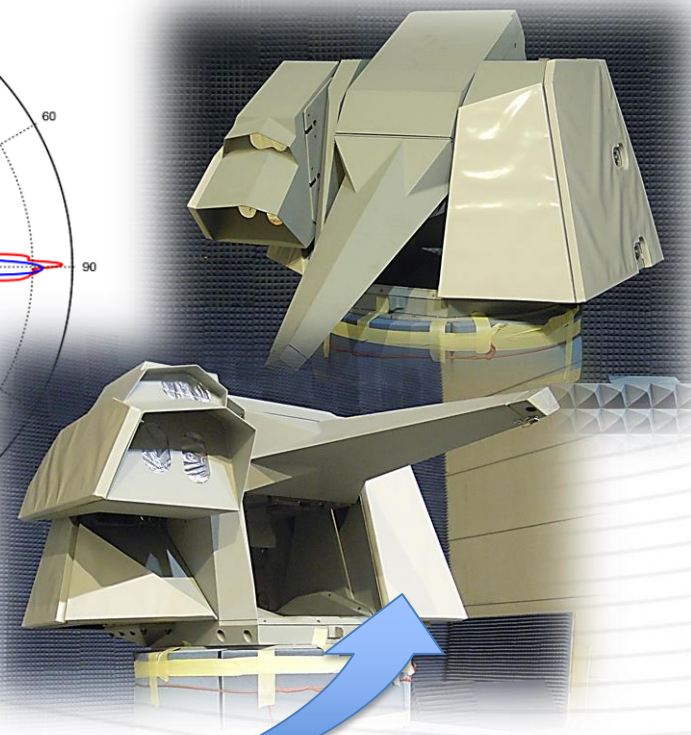


# Verifica della progettazione di componenti

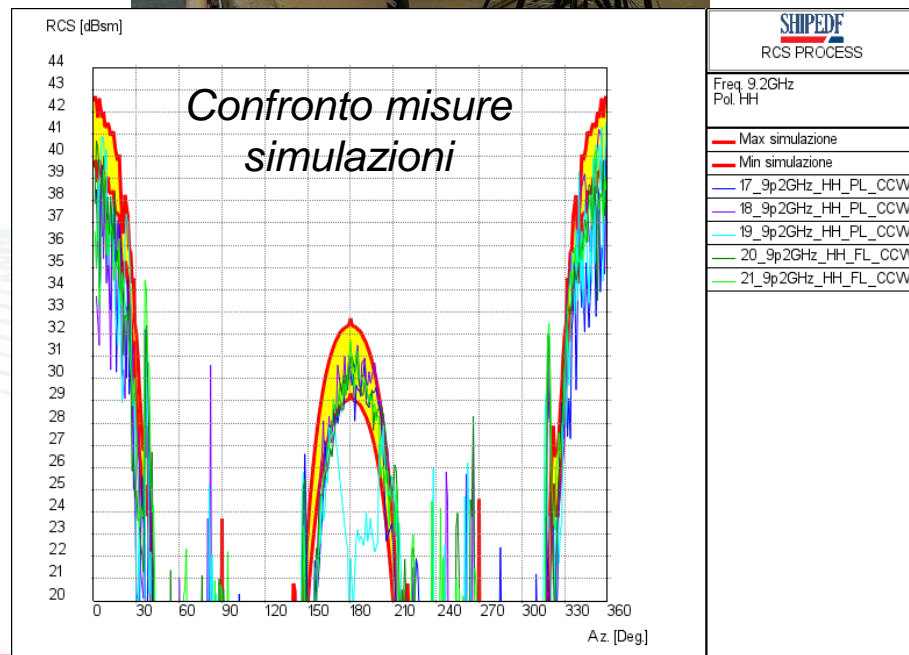
First layout



Final layout



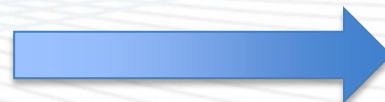
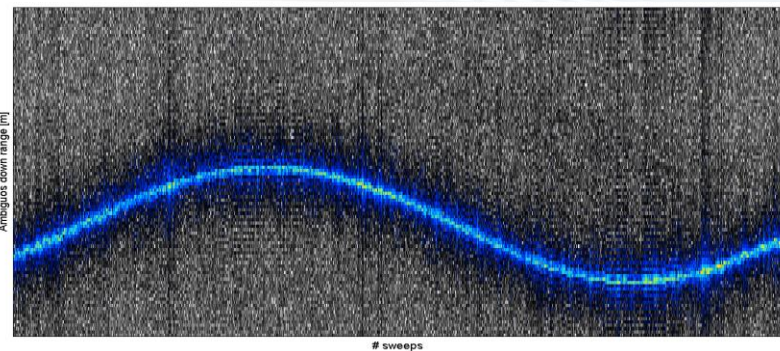
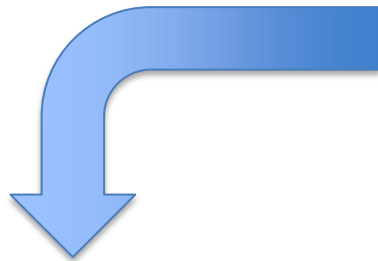
## Misure in ambiente rilevante ai fini di validazione



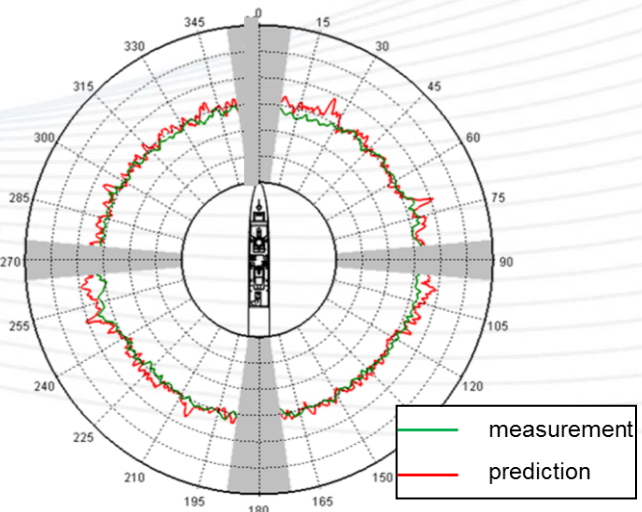
# Misure in ambiente rilevante pre-accettazione MMI



*Acquisizione su giri multipli della UN*

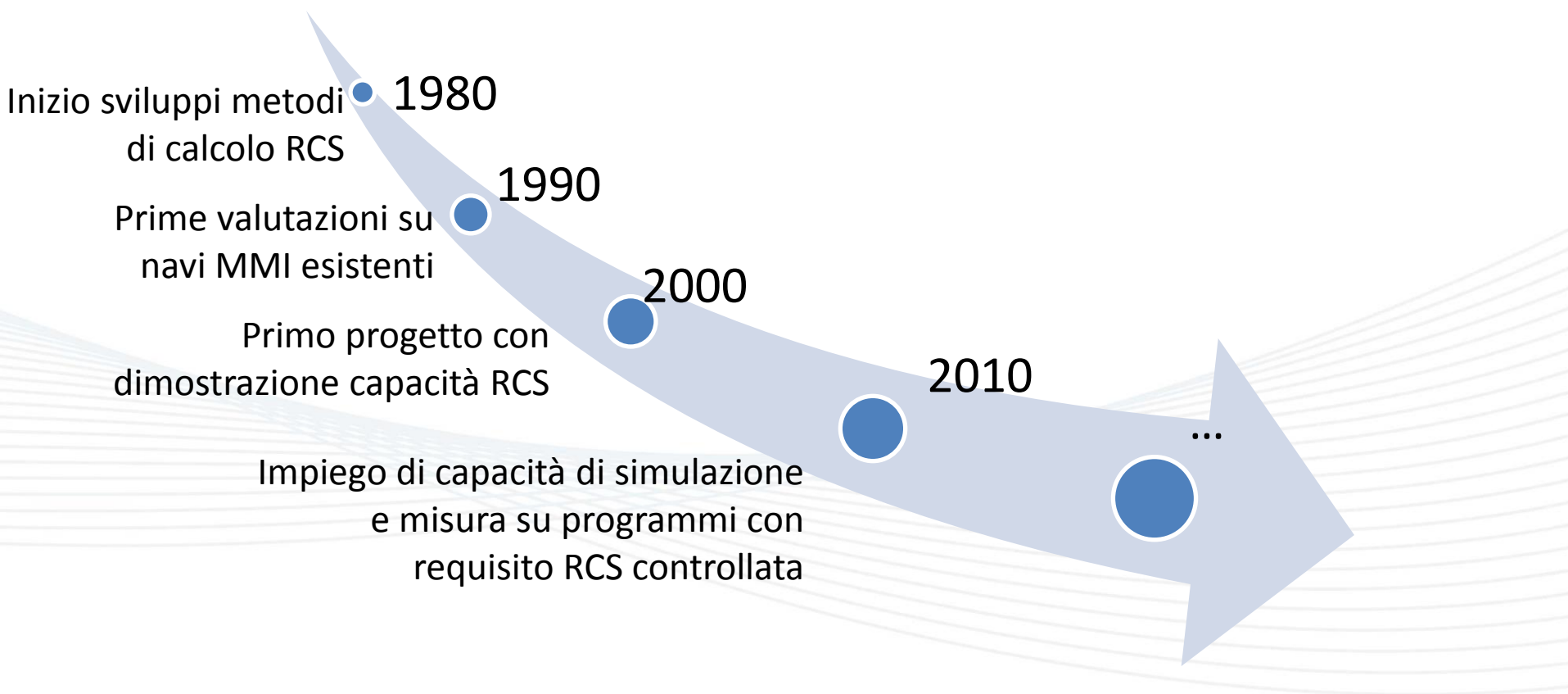


*Utilizzo dei dati nave per ricostruire tutte le informazioni richieste (i.e. heading, roll, pitch, yaw)*



# CONCLUSIONI

## Dagli albori ad oggi



## Cosa ci aspetta il futuro

- Riduzione tempi di analisi
  - ❖ Ottimizzazione tecniche di predizione
  - ❖ Incremento capacità hardware
  
- Evoluzione del requisito
  - ❖ Aumento della banda di interesse
  - ❖ Aumento delle elevazioni di interesse
  
- Controllo dinamico della SER
  - ❖ Sviluppo di materiali/superfici «intelligenti»

# Low Reflecting, Ultra Thin, Conformal Frequency Selective Metamaterials for Radar Camouflage and Cloaking

**Simone GENOVESI, Filippo COSTA, Agostino MONORCHIO**

***[simone.genovesi](mailto:simone.genovesi) [[filippo.costa](mailto:filippo.costa), [a.monorchio](mailto:a.monorchio)][@iet.unipi.it](mailto:iet.unipi.it)***

*Microwave and Radiation Lab  
Università di Pisa [www.mrlab.it](http://www.mrlab.it)*

*CNIT - Laboratorio Nazionale RaSS  
[www.labrass.cnit.it](http://www.labrass.cnit.it)*

*La segnatura radar ed elettroottica delle moderne unità navali:  
valenza, metodi per il controllo e sviluppi tecnologici*

31 Maggio - 1 Giugno 2017, 2017



- Introduction
- Research on metamaterials at UNIPI/CNIT
- Application to antennas and absorbers
- Practical aspects and implementation
- Conclusion and future developments





- Synergic collaboration between University of Pisa and CNIIT (National Inter-University Consortium for Telecommunications)
- Microwave and Radiation Lab has more than 20 years of experience in EM problems including antenna design and optimization, metamaterials, numerical codes, electromagnetic compatibility, biomedical applications.
- Dynamic and stimulating environment for theoretical studies, applied research, prototyping and performance assessment with more than 20 members.



*La segnatura radar ed elettrotica delle moderne unità navali:  
valenza, metodi per il controllo e sviluppi tecnologici*

31 Maggio - 1 Giugno 2017, 2017

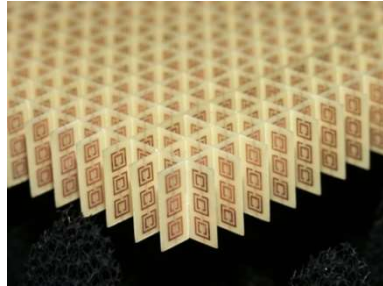
- Penn State University (PA, USA)
- Ohio State University (OH, USA)
- Massachusetts Institute of Technology (MA, USA)
- University of Pennsylvania (PA, USA)
- University of Oxford (UK)
- University of Granada (Spain)
- University of Oviedo (Spain)
- European Space Agency (ESA)
- TNO (Holland)
- German Aerospace Center DLR (Germany)
- Helsinki University of Technology (Finland)
- NATO
- National Tsing Hua University (Taiwan)



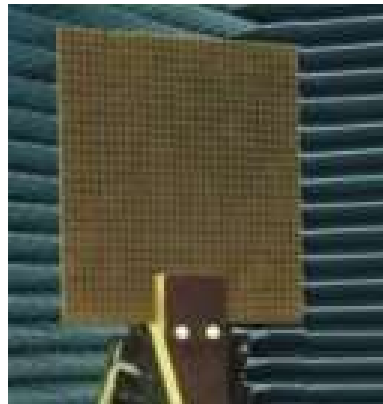
*La segnatura radar ed elettroica delle moderne unità navali:  
valenza, metodi per il controllo e sviluppi tecnologici*

31 Maggio - 1 Giugno 2017, 2017

## Metamaterials, Metasurfaces and Frequency Selective Surfaces



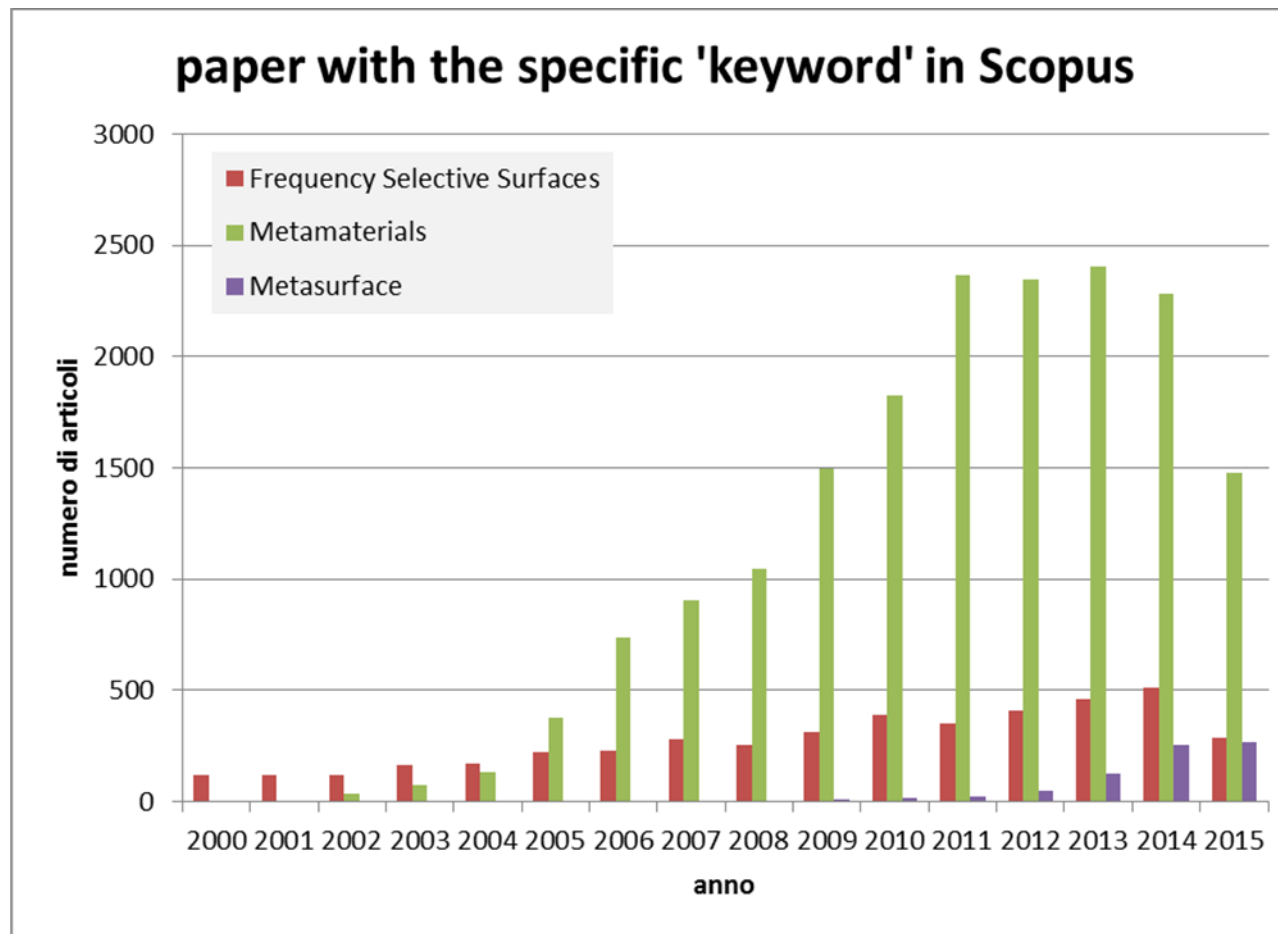
**Metamaterials** are 3D synthetic materials engineered to achieve unique properties not normally found in nature. Metallic inclusions are several times smaller than operating wavelength.



**Metasurfaces** constitute a class of thin metamaterials (2D), which are used from microwave to optical frequencies for several applications. Metasurfaces are typically Frequency Selective Surfaces with a subwavelength periodicity and non resonant behavior.

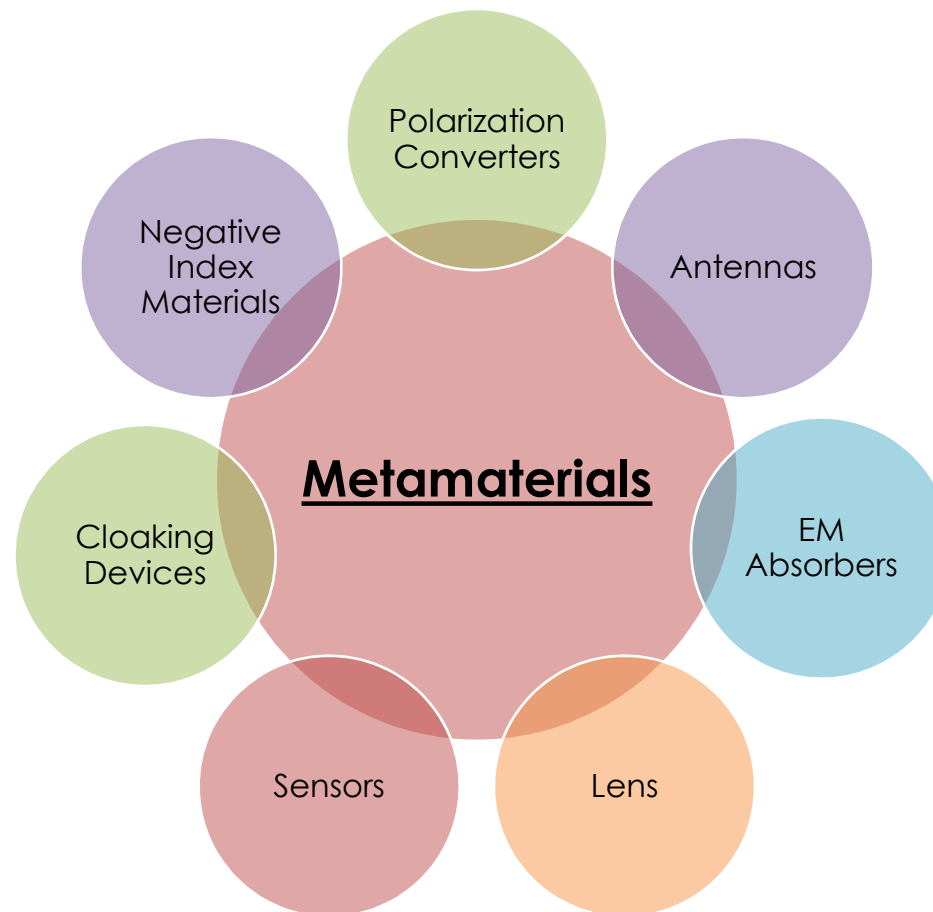
Holloway, Christopher L., et al. "An overview of the theory and applications of metasurfaces: The two-dimensional equivalents of metamaterials." *Antennas and Propagation Magazine, IEEE* 54.2 (2012): 10-35.





**The keywords Metasurface and Frequency Selective Surface are being replacing the keyword Metamaterial**





**The keywords Metasurface and Frequency Selective Surface are being replacing the keyword Metamaterial**



*La segnatura radar ed elettroottica delle moderne unità navali: valenza, metodi per il controllo e sviluppi tecnologici*

31 Maggio - 1 Giugno 2017, 2017

People presently working on FSS:

- Simone Genovesi
- Filippo Costa
- Michele Borgese
- Francesco Scarano
- Davide Bianchi
- Francesco Alessio Dicandia
- Giuliano Manara
- Agostino Monorchio

**1999:**  
GA based FSS  
(Penn state  
collaboration)

**2005:**  
Single layer  
AMC, produced  
by Sciperio Inc.  
USA

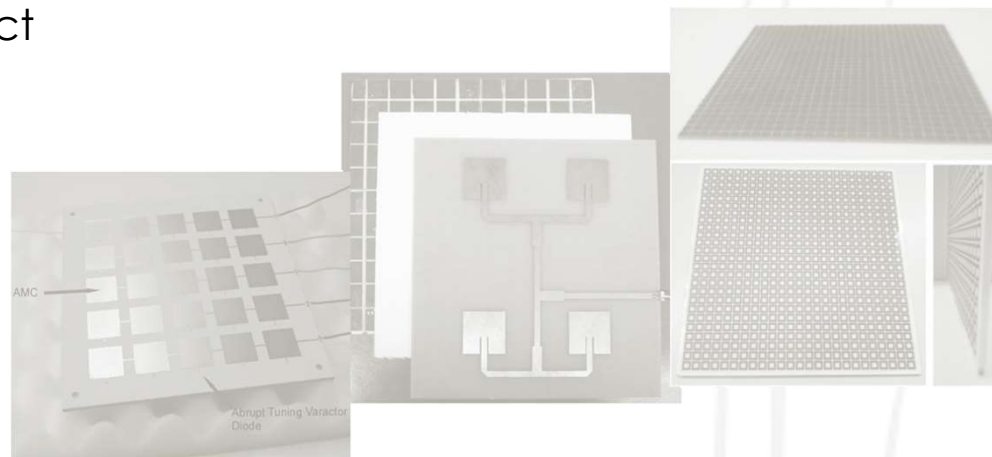
**Since 2007:**  
FSS absorbers  
(highly cited  
papers)

**2006:**  
M.A.R.T.A.  
project

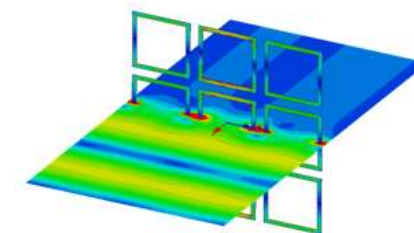
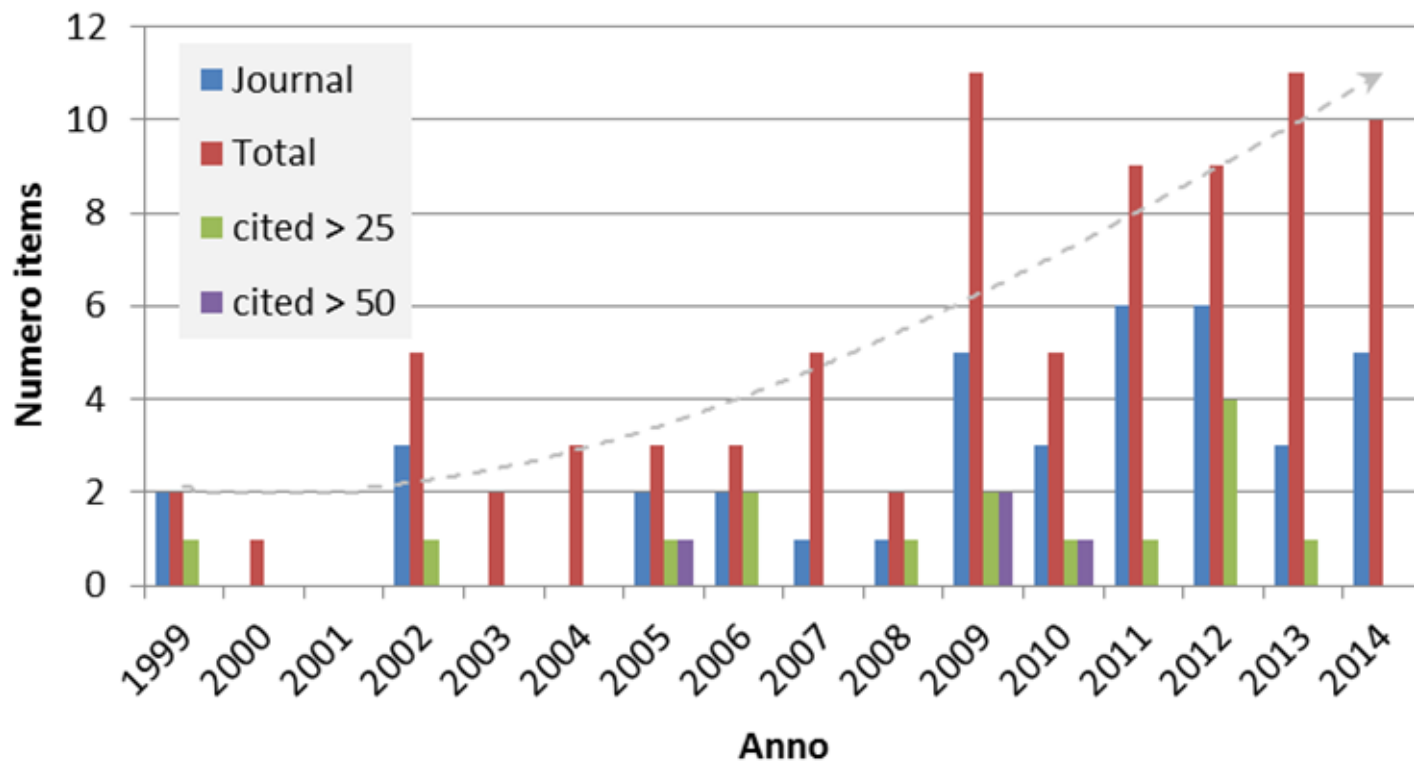
**Since 2012:**  
Integrated Low-RCS  
antennas with FSS

**2011:**  
SHIRED  
project

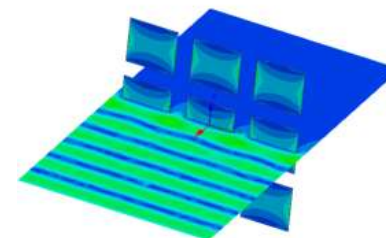
**2014:**  
L.O.R.E.N.  
project



## Articoli su FSS del gruppo di ricerca (indicizzati Scopus)

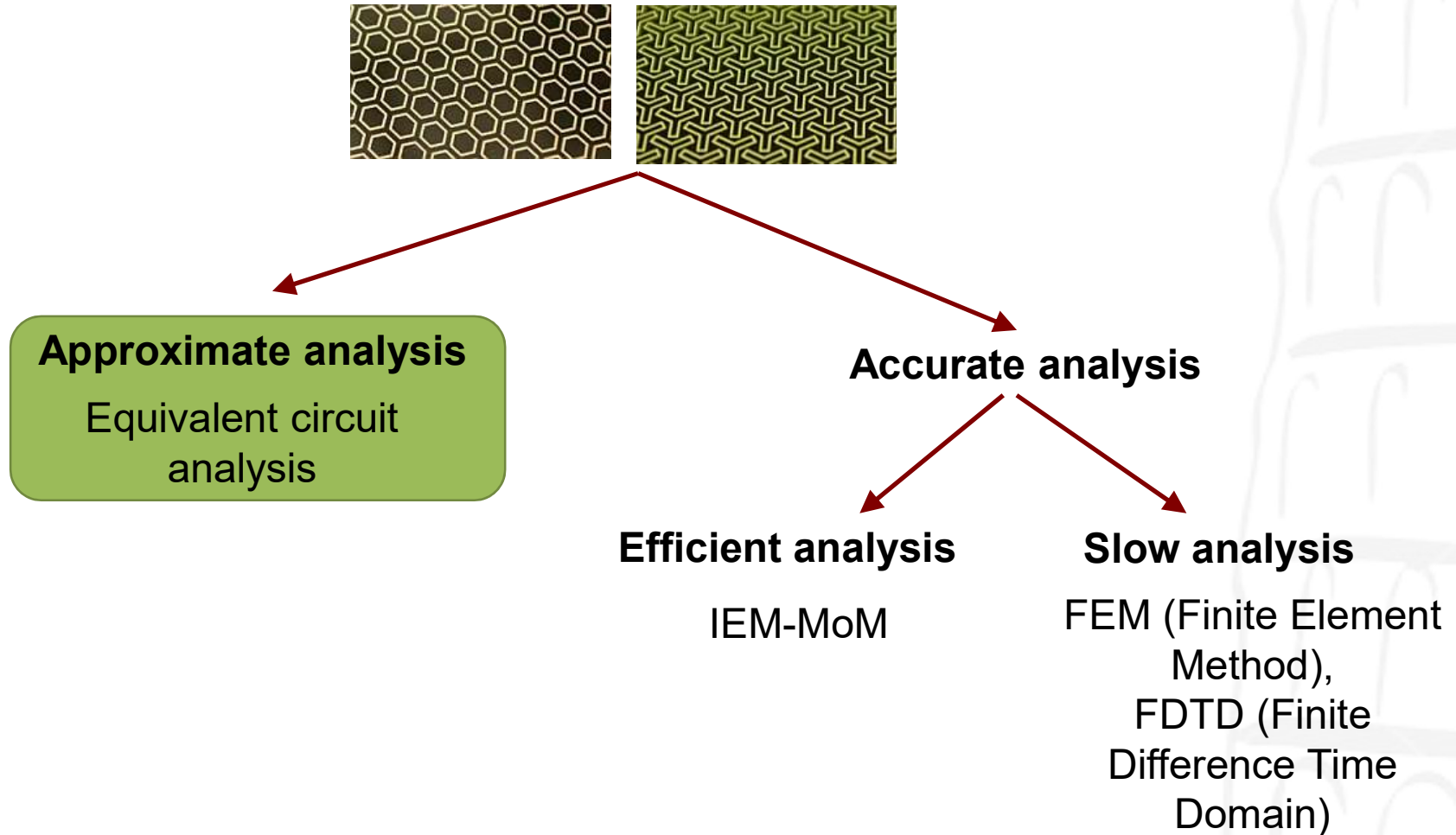


Ring @10GHz



Patch @29GHz





Wavelength at which the grating lobes occur:

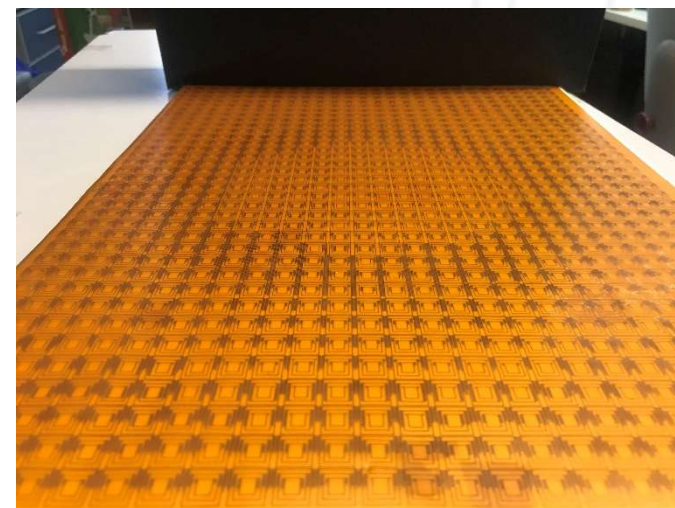
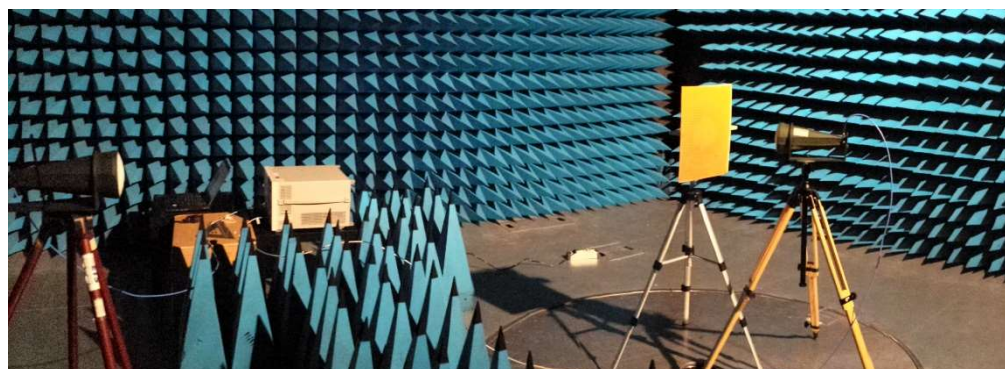
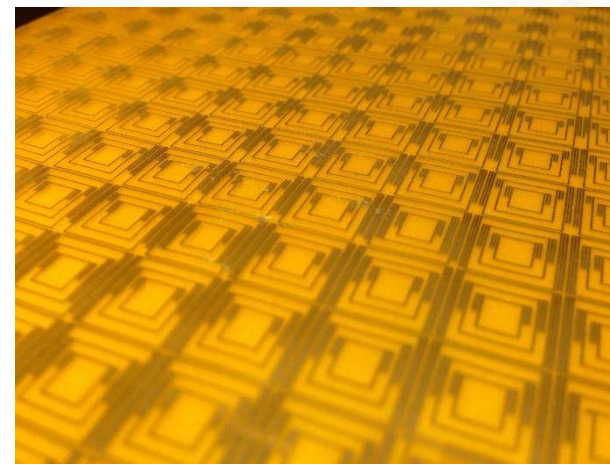
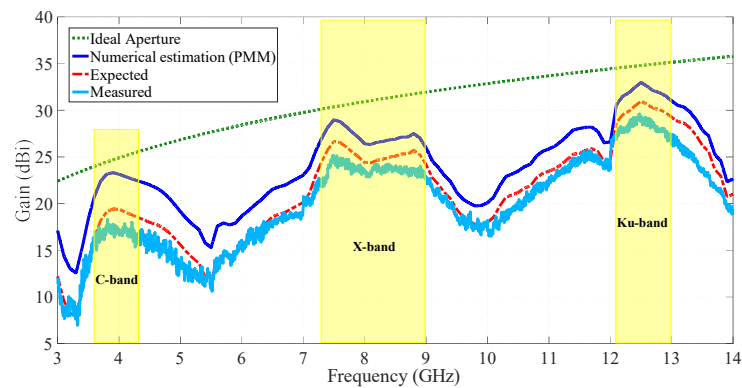
$$\lambda_g^{\epsilon_r} = D \left( \sqrt{\epsilon_r} + \sin(\vartheta) \right)$$

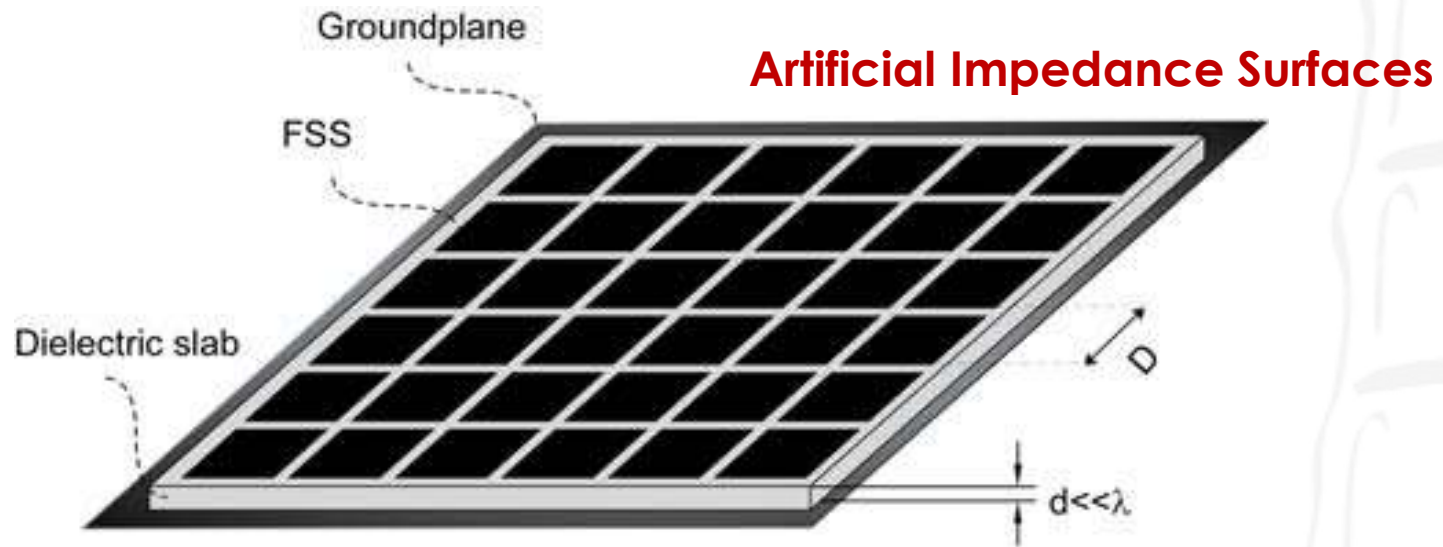
Quasistatic region $D \ll \lambda_g$	Resonance region $D < \lambda_g$	Grating lobes/Trapped dielectric modes region $D > \lambda_g$
TL model (averaged theory)		
TL model (retrieving approach)		
Multi-mode (retrieving approach)		

In the analysis of periodic structures, three different fundamental regions can be individuated



## Multiband Reflectarray





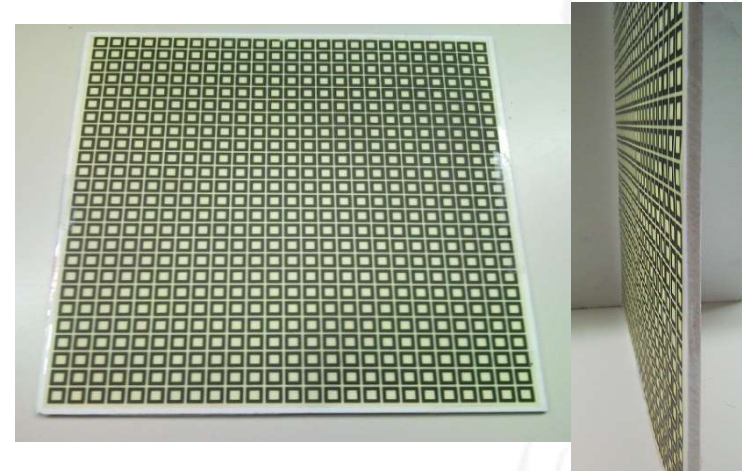
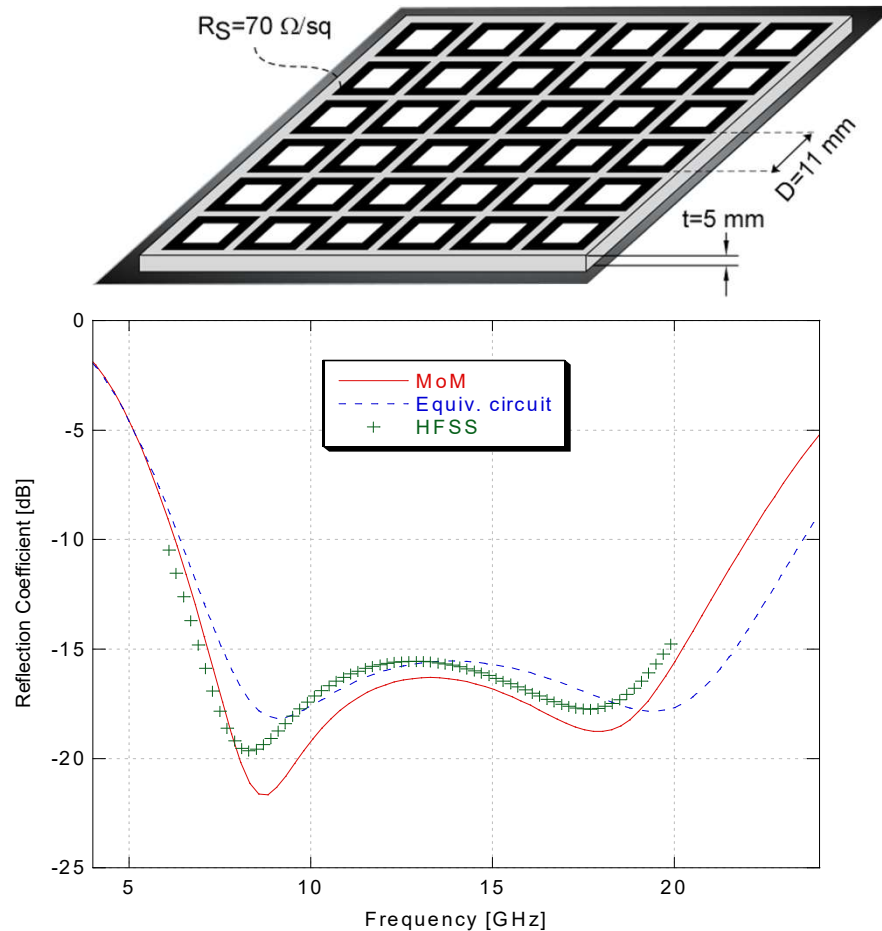
Some unit cell types

It consists of a periodic frequency selective surface (FSS) on the top of a grounded dielectric slab

**Losses can be in the FSS or in the substrate**



## Wideband absorbers with resistive FSS



$$\left| \int_0^{\infty} \ln |R(\lambda)| d\lambda \right| \leq 2\pi^2 \sum_i \mu_{r,i} d_i$$

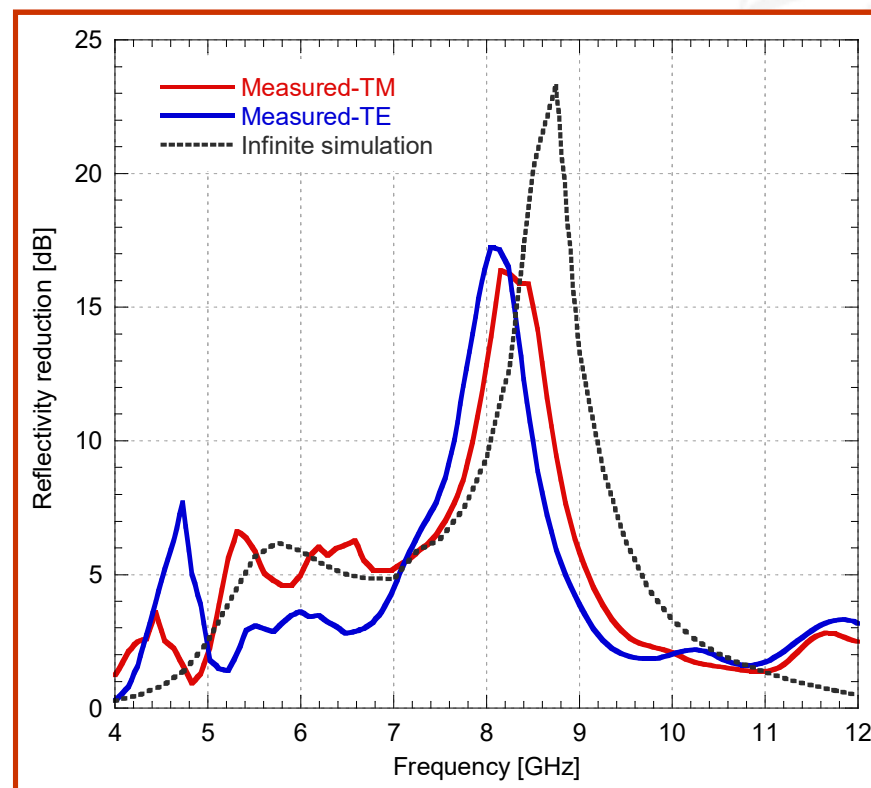
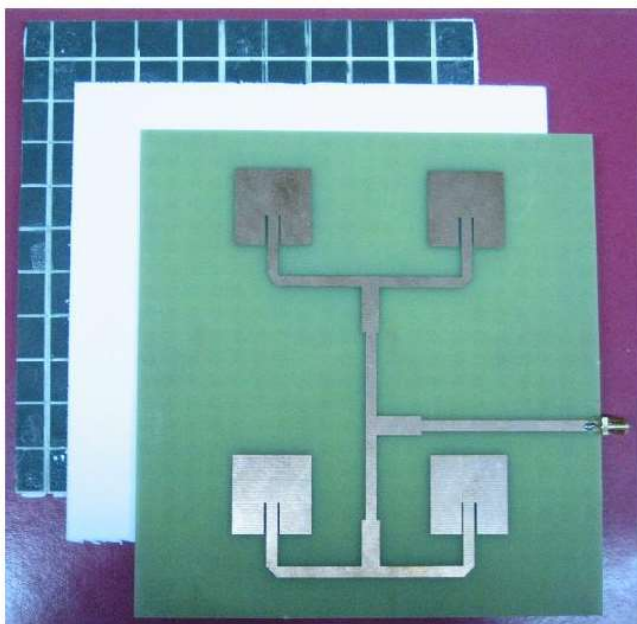
Total thickness: 5 mm  
Physical limit: 4.5 mm

F. Costa, A. Monorchio, G. Manara, "Analysis and Design of Ultra Thin Electromagnetic Absorbers Comprising Resistively Loaded High Impedance Surfaces" IEEE Transaction on Antennas and Propagation vol. 58, no. 5, pp. 1551-1558, 2010.



La segnatura radar ed elettroottica delle moderne unità navali:  
valenza, metodi per il controllo e sviluppi tecnologici

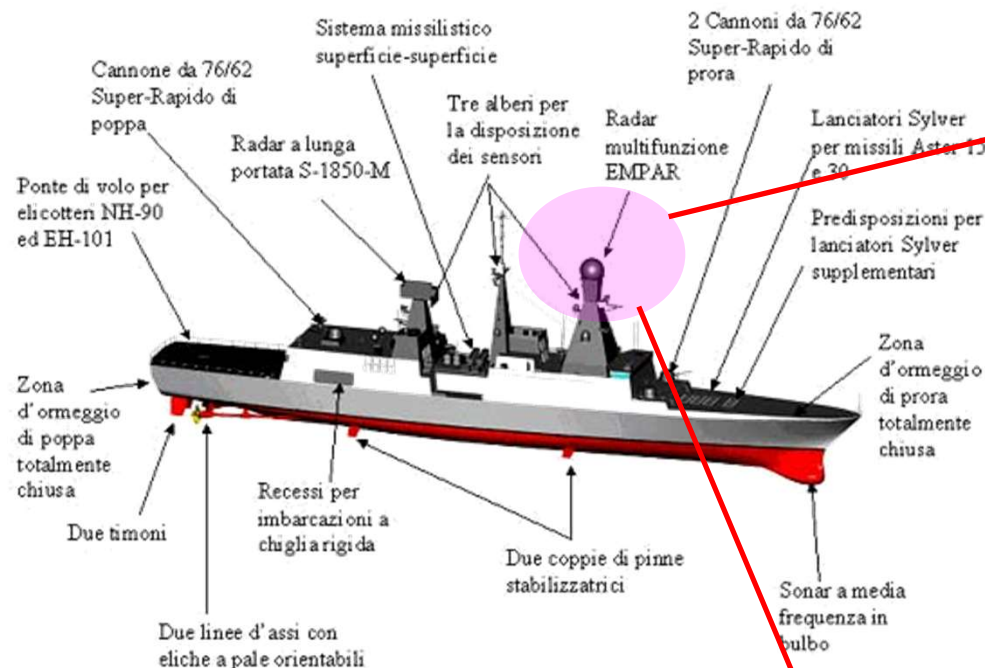
31 Maggio - 1 Giugno 2017, 2017



- Reduction of the RCS achieved in a wider bandwidth than the previous hybrid FSS ground plane case.

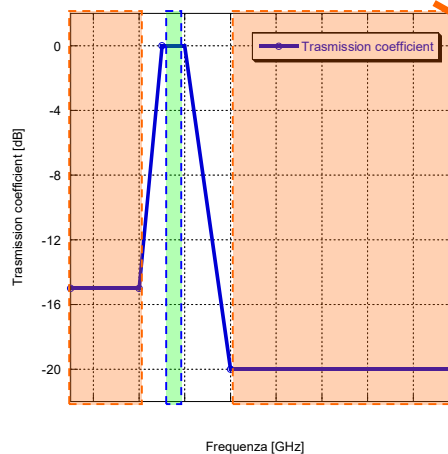
F. Costa, S. Genovesi, and A. Monorchio, "A Frequency Selective Absorbing Ground Plane for Low-RCS Microstrip Antenna Arrays", Progress In Electromagnetics Research, Vol. 126, 317-332, 2012.





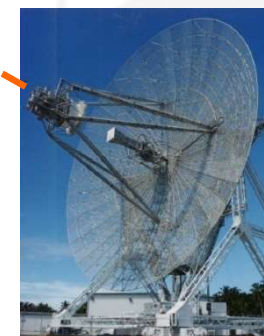
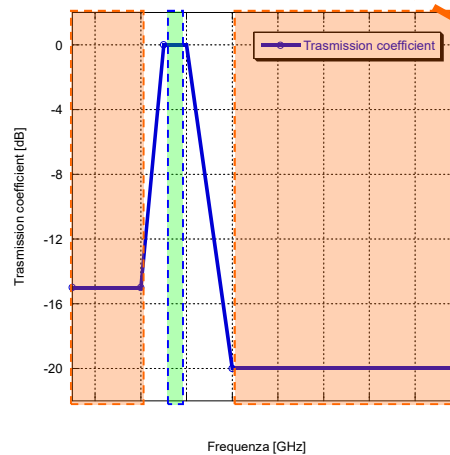


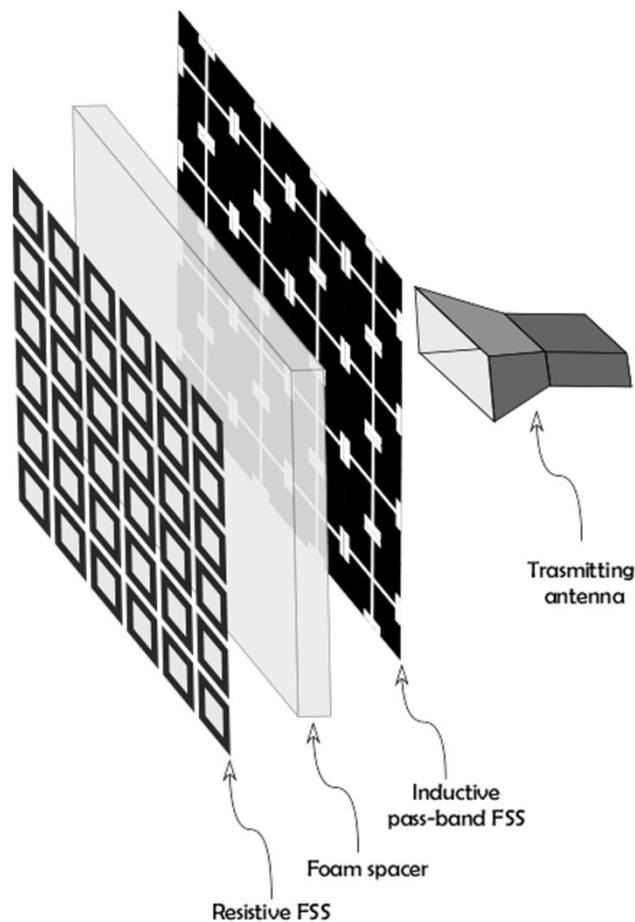
- Only transmitted pass through radome without attenuation
- All other radar signals are reflected in a specular direction.
- Fictitious RCS reduction





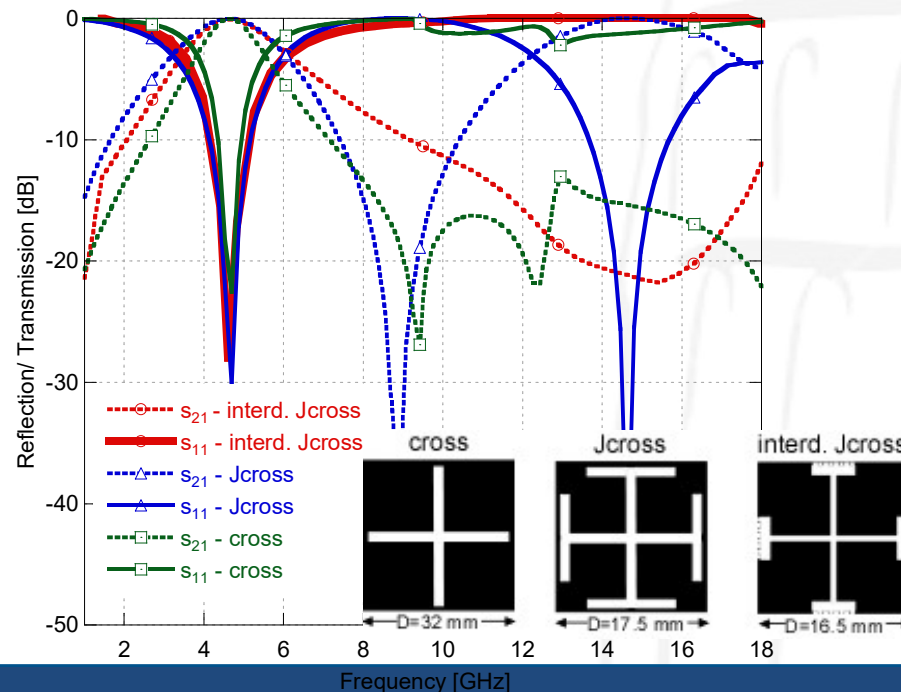
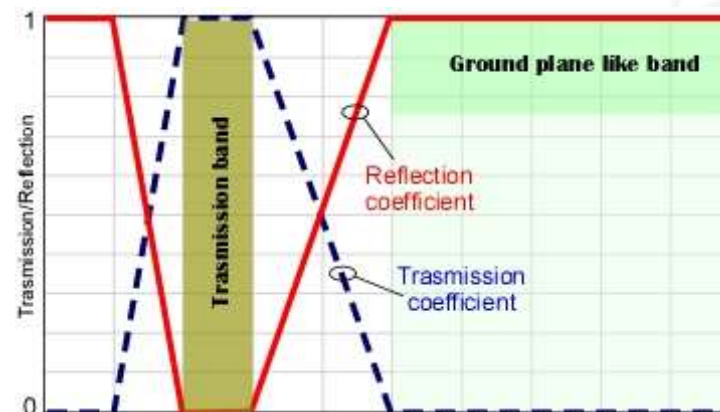
- Transmitted signals pass through radome
- All other radar signals are absorbed!!
- **REAL RCS reduction**





T  
A  
R  
G  
E  
T

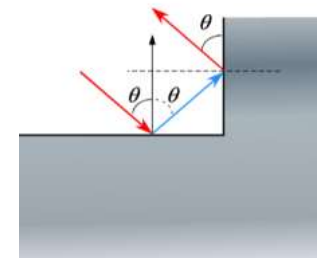
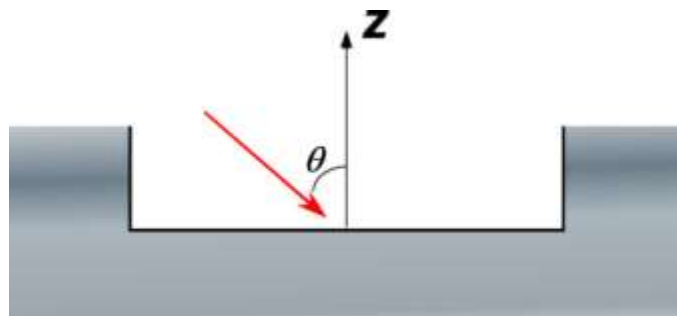
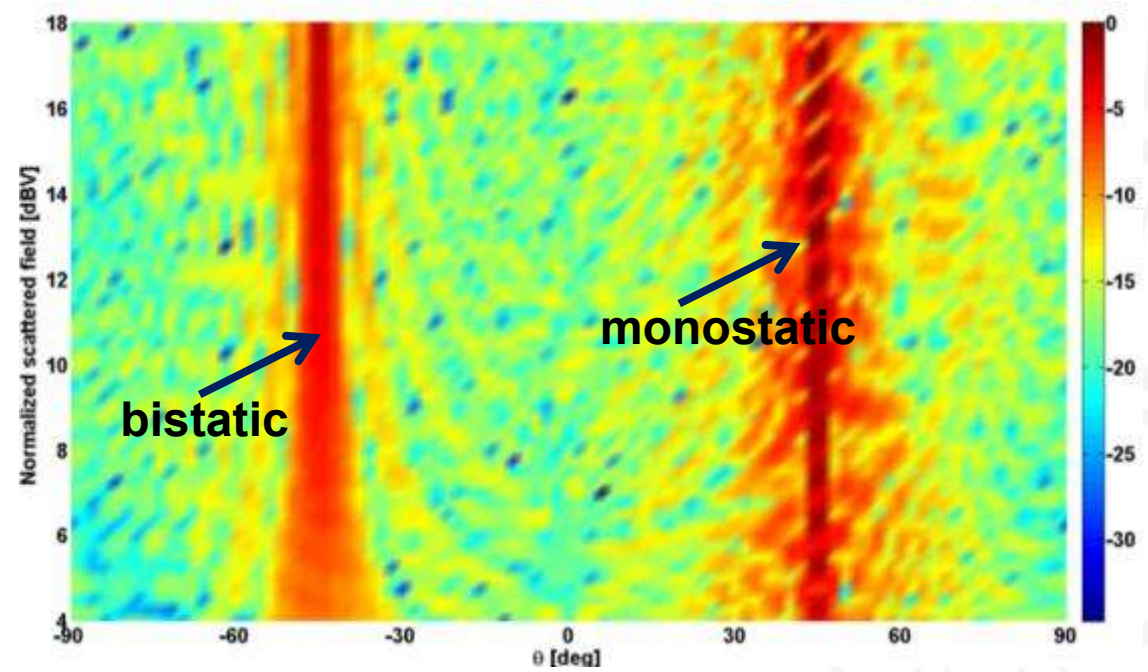
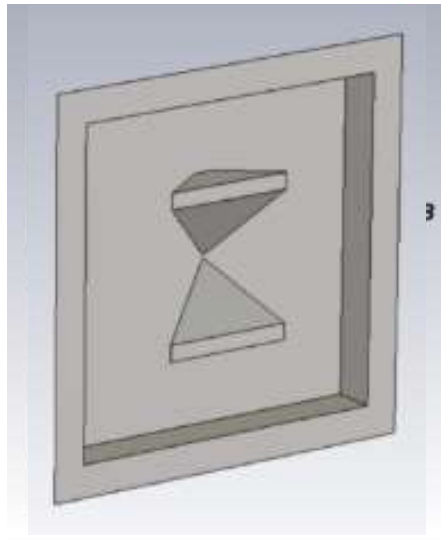
R  
E  
A  
L  
D  
E  
S  
I  
G  
N



La segnatura radar ed elettroica delle moderne unità navali:  
valenza, metodi per il controllo e sviluppi tecnologici

31 Maggio - 1 Giugno 2017, 2017

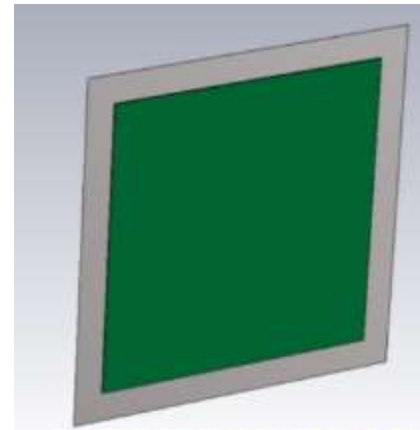
Effect of the cavity



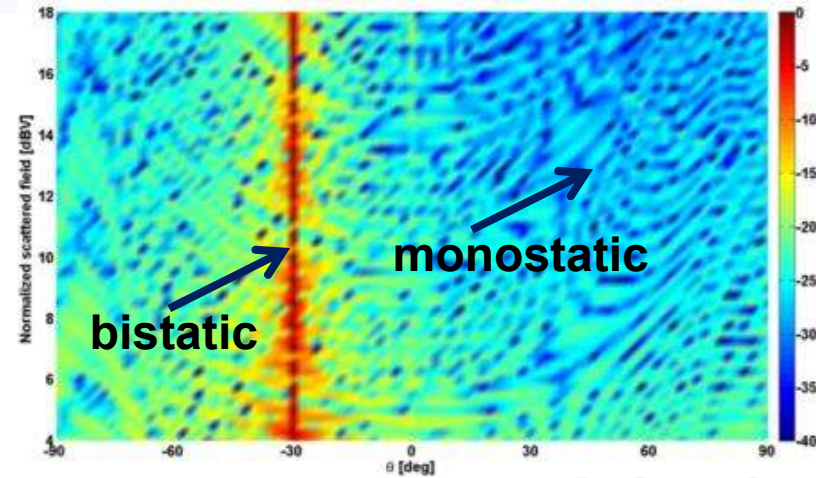
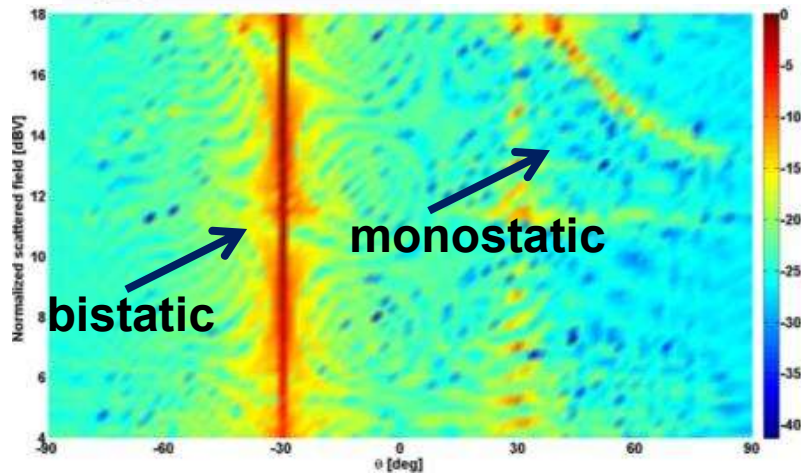
## RCS reduction of UHF antennas within cavities



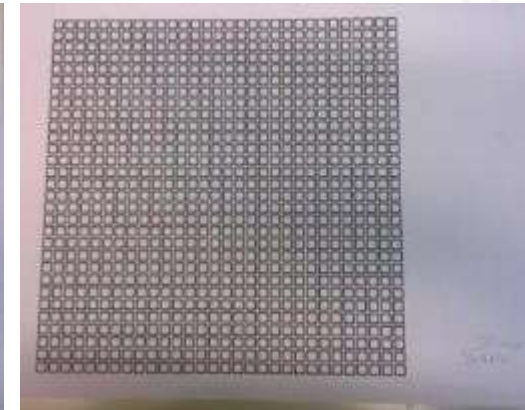
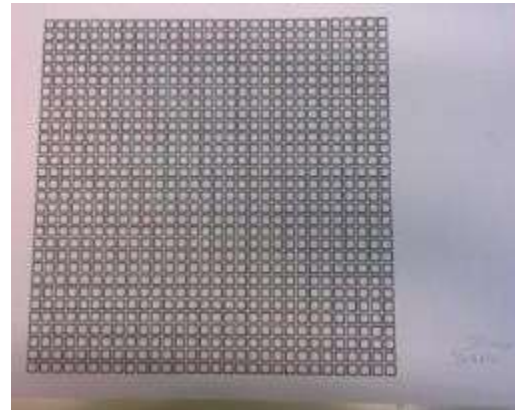
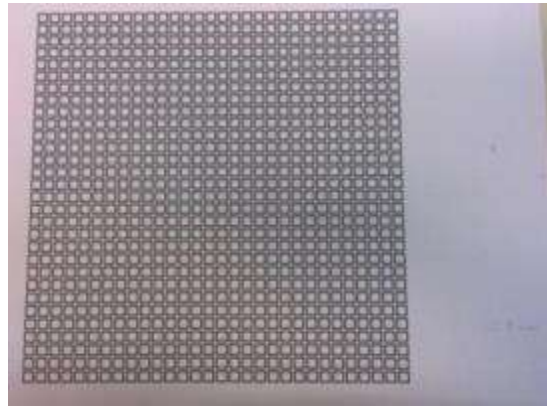
Antenna in cavity  
+  
Radome FSS  
*(obl. Inc.  $\Theta=30^\circ$ )*



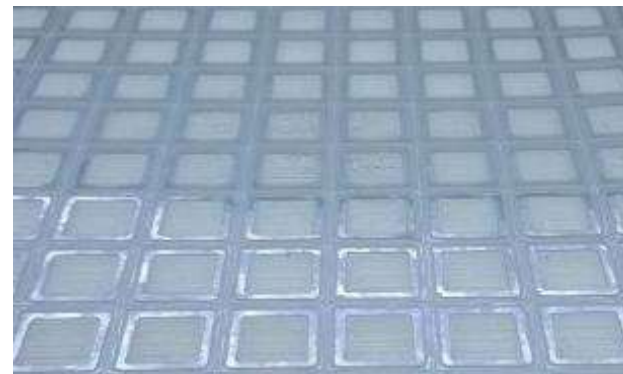
Antenna in cavity  
+  
Radome FSS  
+  
absorber  
*(obl. inc.  $\Theta=30^\circ$ )*

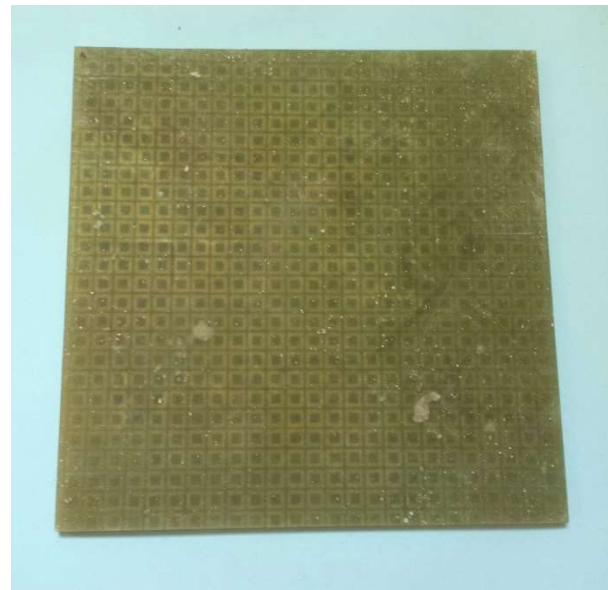


## Silk printing technology

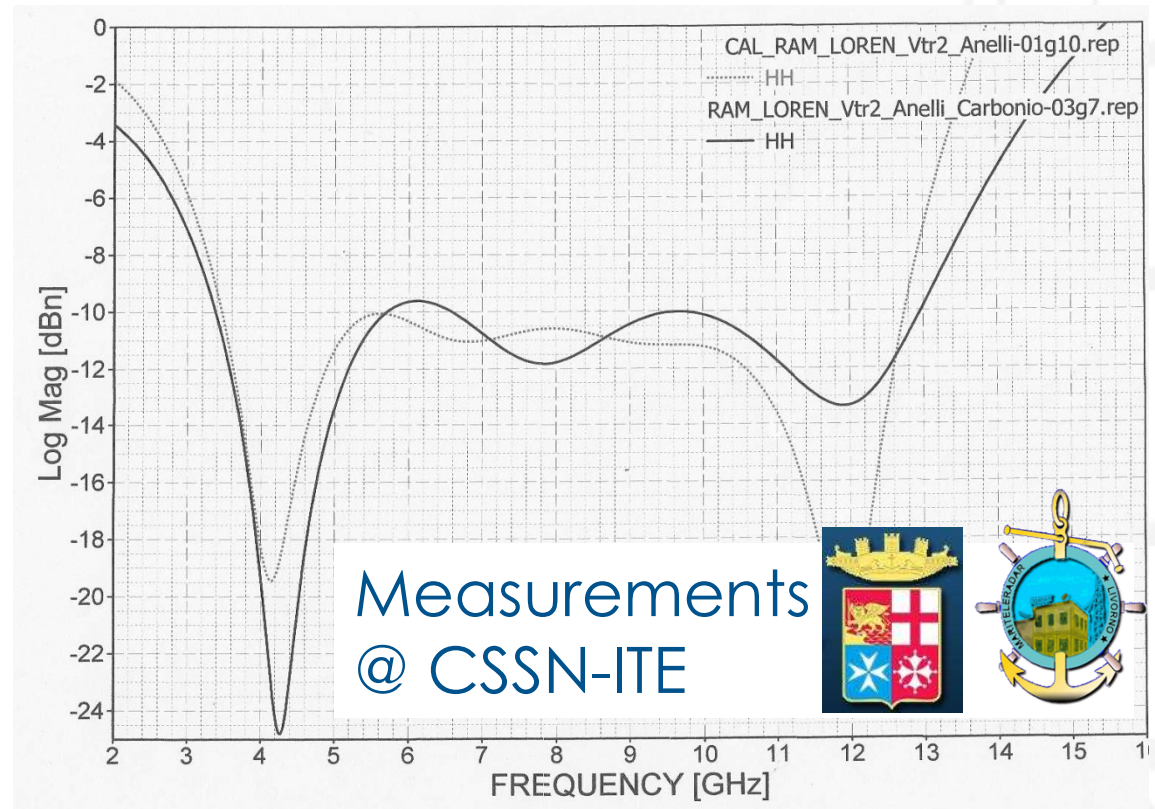


**Resistive FSS loaded  
with silver nanoinks**





## Structural fiberglass absorbers



## Implementation on large surfaces



- **Solid theoretical background on Frequency Selective Surfaces at the basis of metamaterials and metasurfaces development;**
- **Tailoring of state-of-the art absorbers properties and integration in radomes and antennas;**
- **Continuous efforts for realization and implementation on large surfaces and for structural materials.**
- **Minimally invasive absorbers for small footprint and high absorption performance (currently ongoing in LOREN project);**
- **Absorbers loaded with nanoparticle for further performance enhancement.**





---

## Il controllo della segnatura radar sulle Unità Navali di combattimento: le griglie di ventilazione

Giacomo Bertolotto<sup>1</sup> ([giacomo.bertolotto@fincantieri.it](mailto:giacomo.bertolotto@fincantieri.it))

Aldo Guagnano<sup>1</sup> ([aldo.guagnano@fincantieri.it](mailto:aldo.guagnano@fincantieri.it))

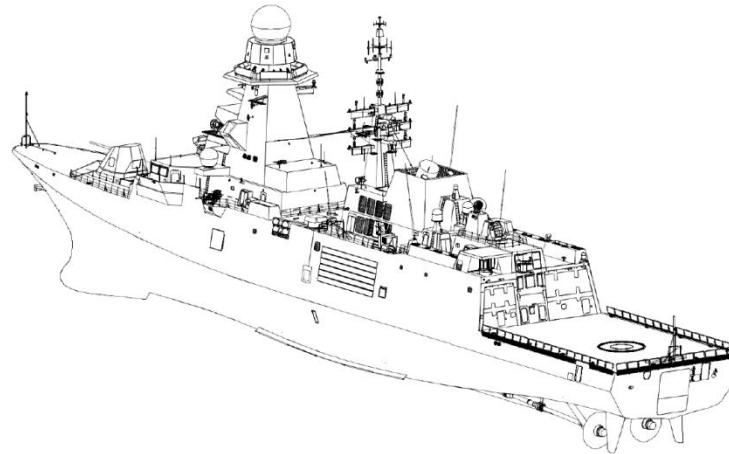
Pisa, 31/05/2017

# Il controllo della segnatura radar sulle Unità Navali di combattimento: le griglie di ventilazione

## Agenda

- La Radar Cross Section nelle Unità Navali
- Scelta delle caratteristiche EM degli “outfitting” da imbarcare
- Le griglie sulle Unità Navali
- Il progetto di un nuovo tipo di griglia
  - La caratterizzazione EM– misure di RCS e SE
  - La sperimentazione in ambiente marino

## La Radar Cross Section nelle Unità Navali



Il controllo della segnatura radar (RCS) di una unità navale ha il duplice obiettivo di rendere la nave meno “detettabile” dai radar nemici e aumentare l’efficacia dei suoi sistemi di difesa elettronica (attivi e passivi).

Diverse sono le aree sulle quali il progettista può agire per cercare di ridurre la RCS:

- scafo, sovrastrutture,
- apparati del Sistema di Combattimento,
- allestimento marinaresco (i cosiddetti “outfitting”: fanali, griglie di ventilazione, strumenti d'appontaggio, proiettori, luci per l’illuminazione ponti esterni, tientibene, candelieri).

Analizzando i risultati ottenuti dagli studi RCS di costruzioni navali recenti è emerso che il contributo degli “outfitting” incide circa per il 20% sulla RCS totale dell’Unità Navale.

# La Radar Cross Section nelle Unità Navali

Considerata:

- la generale impraticabilità nell'ottenere modifiche significative alla configurazione dei singoli apparati di SdC (quasi sempre dei Military Off-The-Shelf) ;
- e che, per la piattaforma navale, esiste un limite di riduzione della RCS basata principalmente sull'ottimizzazione delle forme,

è stata condotta una attività volta a quantificare i margini di intervento sull'allestimento marinaresco attraverso:

- la ricerca e la progettazione di componentistica innovativa a bassa segnatura RCS;
- lo studio di modi di installazione a bordo.

In questo contesto verrà presentata l'attività di progettazione e di misura svolta dalla Società Fincantieri S.p.A. sulle nuove griglie di ventilazione a bassa segnatura radar.

# Scelta delle caratteristiche EM (RCS e SE) degli 'outfitting'

## CLASSIFICAZIONE DELLE UNITA' NAVALI

Le Unità Navali in base al requisito di progetto RCS richiesto, possono essere classificate in tre categorie:

- Segnatura Controllata RCS > 30 dBsm
- Bassa Segnatura (Low Observability) 10 dBsm < RCS < 30 dBsm
- Nave Invisibile (Very Low Observability) RCS < 10dBsm.

## CRITERIO DI SCELTA PER GLI OUTFITTINGS

Un criterio normalmente usato per la scelta degli outfitting da installare a bordo delle UU.NN. è che questi abbiano un valor medio di RCS inferiore di almeno 10dB rispetto ai valori di soglia usati per la classificazione delle UU.NN..

## REQUISITO RCS PER GLI OUTFITTINGS

Categoria Unità Navale	Requisito RCS [dBsm]
Segnatura Controllata	RCS > 20
Bassa Segnatura	0 < RCS < 20
Nave Invisibile	RCS < 0

# Scelta delle caratteristiche EM (RCS e SE) degli 'outfitting'

## REQUISITO DI SHIELDING EFFECTIVENESS (SE) PER GLI OUTFITTING

Il requisito SE é richiesto ad un "outfitting" qualora questo debba esibire capacità di schermatura verso i locali interni nave sorgenti di possibili indesiderate riflessioni radar.

Nell'ambito delle attività di progettazione delle nuove griglie di ventilazione si è ipotizzata la presenza di una cavità interna (plenum) retrostante con un valore medio di RCS di 50dBsm @ 16GHz.

### REQUISITO SE PER GRIGLIE DI VENTILAZIONE

Categoria Unità Navale	Requisito SE 1-way [dB]
Segnatura Controllata	SE < 15
Bassa Segnatura	15 < SE < 25
Nave Invisibile	SE > 25

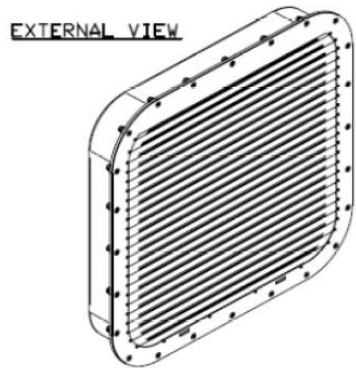
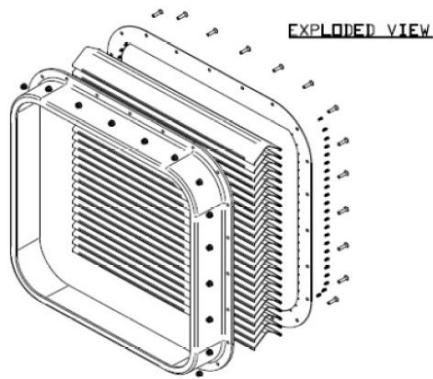
L'efficienza di uno schermo (Shielding Effectiveness) è definita come il rapporto tra la potenza incidente  $P_i$  e la potenza trasmessa  $P_t$

$$SE = 10 \log_{10} \frac{P_i}{P_t}$$



# Le griglie sulle Unità Navali: soluzione attualmente imbarcata

Le griglie attualmente installate sulle UU.NN. sono costruite intorno ad un frame in vetroresina nel quale sono montate, con l'ausilio di piccola bulloneria inox, le alette in vetroresina "caricate" con fibre di carbonio. L'assemblaggio è completato con una contro-flangia in acciaio inox per garantire un contatto elettrico tra i vari componenti ed il fissaggio a murata della nave.



Disegno meccanico  
griglia di ventilazione



Installazione a bordo  
griglia di ventilazione

## Le griglie sulle Unità Navali: soluzione attualmente imbarcata

Dall'esperienza maturata risulta che il materiale in vetroresina, durante le fasi di allestimento risulta inquinato da polveri metalliche derivanti da lavorazioni (saldature, molature, ...) eseguite nelle vicinanze o da materiale di sfido portato in loco per caduta.

I fenomeni di ossidazione innescati da tale inquinamento richiedono continui ripristini dei trattamenti di pitturazione e sostituzione della minuteria di fissaggio dei componenti.



A causa delle anomalie riscontrate è stata avviata una attività di progettazione e ricerca su come poter risolvere il problema.

## Le griglie sulle Unità Navali: il nuovo progetto di griglia

Le idee base che hanno guidato la progettazione del nuovo tipo di griglia sono state:

- Impiego di materiale in lega leggera per la costruzione di tutto il componente;
- Impiego di pannelli in “honeycomb” sulla parte frontale della griglia, che garantendo una elevata schermatura elettromagnetica e basse perdite di carico sul flusso di aria, svincolano il progetto meccanico interno delle parti della griglia (alette, supporti);
- intercambiabilità meccanica con la griglia precedente;
- semplificazione delle attività di manutenzione.

# Le griglie sulle Unità Navali: il nuovo progetto di griglia

L'attività di progettazione si è svolta in due successive fasi:

**FASE 1:** Durante la prima fase di studio è stata costruita una griglia interamente in lega leggera (alluminio) di dimensioni (700X500 mm).

Il prototipo è stato caratterizzato con misure RCS e di SE presso i laboratori di misura della ditta IDS. I risultati sperimentali hanno evidenziato criticità nei valori RCS ma in particolare nei valori della SE dovute principalmente alle geometrie interne ed al materiale usato per la costruzione della griglia.

**FASE 2:** La seconda fase di studio ha affinato la progettazione della griglia con la sistemazione nella parte frontale di un pannello in "honeycomb" che, garantendo elevati valori di SE, ne fa assumere un comportamento simile ad una piastra piana continua.

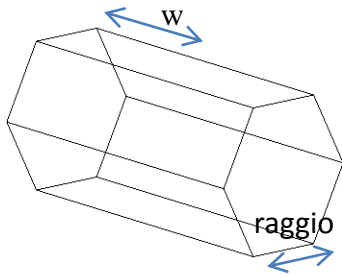
Struttura in alluminio



Pannello in honeycomb

Prototipo di griglia 700x500mm

## Le caratteristiche di SE dell'honeycomb



Unit Cell

$$SE = 17.5 \frac{w}{\text{raggio}} \sqrt{1 - \left( \frac{\text{raggio} * f}{96659} \right)^2} - 20 \log_{10} \frac{2 * k * \text{raggio}}{\pi} \cos \phi - 20 \log_{10} \frac{2 * R * \text{raggio}}{f}$$

Ref. Design equation of shielding effectiveness of honeycomb – proceedings of ISAP2005, SEOUL, KOREA

L'espressione ha validità per frequenze operative inferiori alla frequenza di cut-off ( $f < f_c$ ) dove:

- raggio = lato della cella in millimetri
- w = lunghezza della cella in millimetri
- $\phi$  = angolo di incidenza dell'onda elettromagnetica
- k = numero d'onda
- f = frequenza operativa in MHz
- R = 3.18/raggio

Il valore (96659/raggio) in [MHz] rappresenta la frequenza di cut off ( $f_c$ )

I tre termini dell'espressione della SE rappresentano:

- Il primo: l'attenuazione della guida d'onda della unit-cell
- Il secondo: la correzione per un array infinito di unit-cell
- Il terzo: la correzione per avere una migliore approssimazione della SE alle basse frequenze (da considerare se  $f_c / f > 5R$ )

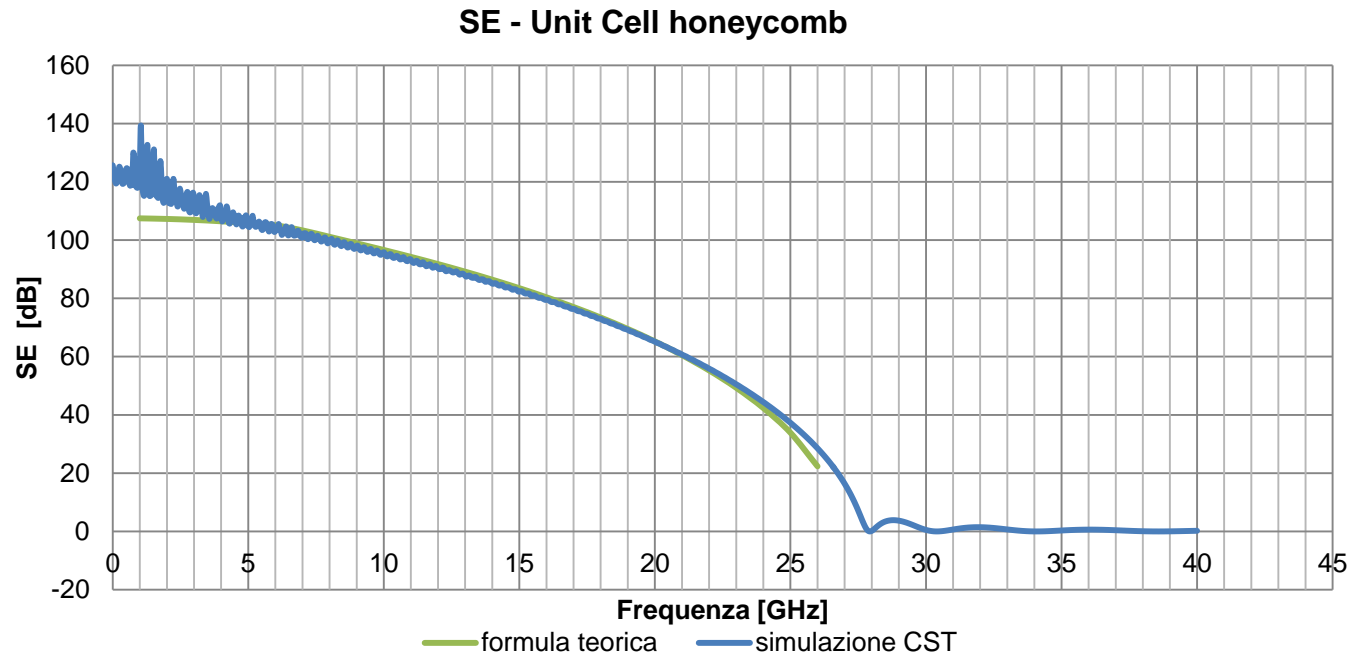
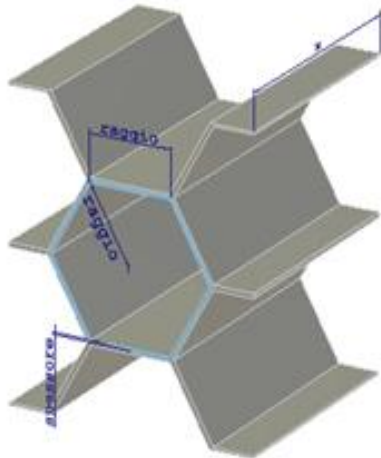
## Le caratteristiche di SE dell'honeycomb

Nel grafico sono riportati i valori della SE calcolati con il modello matematico ed i valori ottenuti da una simulazione elettromagnetica impiegando il solver EM CST-Microwave Studio.

Il confronto è stato eseguito considerando le seguenti caratteristiche della unit-cell:

- raggio 3.6 [mm]
- profondità 20.0 [mm]
- angolo di incidenza  $0^\circ$

La frequenza di cut-off risulta di circa 27 [GHz]



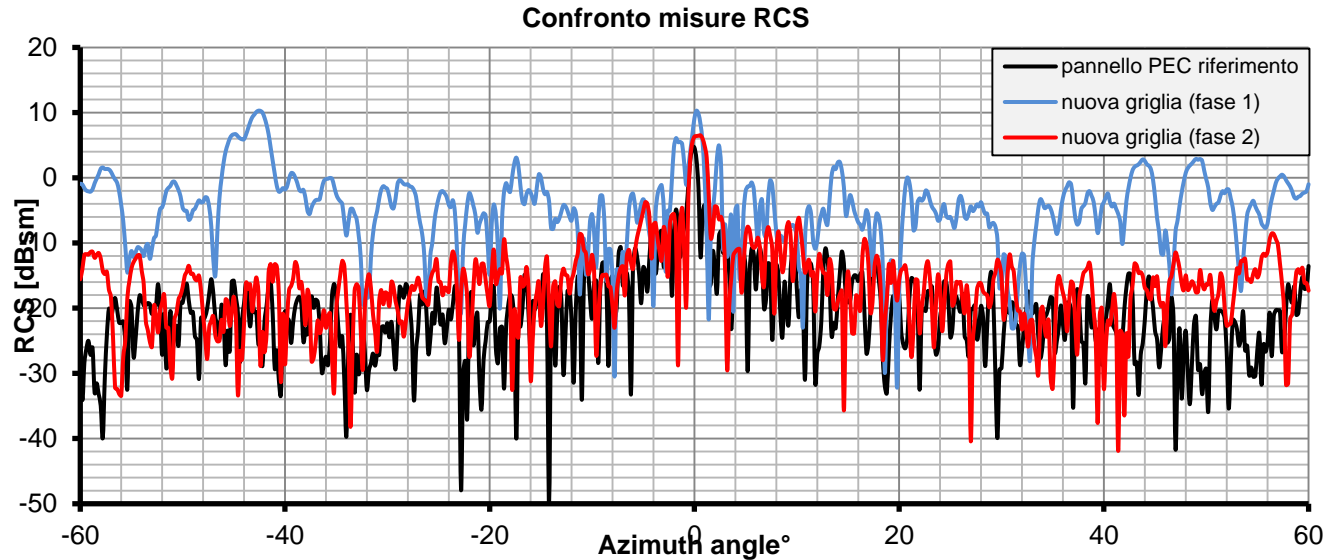


# La caratterizzazione EM della griglia – Misure RCS e di SE

Risultati delle misure RCS relativi a:

- prototipo iniziale di griglia (dopo la prima fase di studio - linea celeste);
- prototipo finale di griglia con pannello in “honeycomb” (dopo la seconda fase di studio - linea rossa);
- pannello (PEC) di riferimento, delle stesse dimensioni della griglia (linea nera);

Parametri di misura: frequenza 16 GHz; Polarizzazione VV; inclinazione verticale della griglia 10°



## Risultati misure RCS

Configurazione griglia	valor medio RCS dBsm
Prototipo iniziale griglia (fase 1 sperimentazione)	-3
Prototipo finale griglia (fase 2 sperimentazione)	-10.4
PEC	-21

La curva di colore celeste, relativa al prototipo iniziale di griglia, evidenzia un innalzamento dell'RCS rispetto al pannello PEC di riferimento per valori angolari in azimuth distanti dal “boresigth”, dovuto alle forme geometriche interne della griglia.

L'impiego del pannello di honeycomb, inserito sulla parte anteriore del prototipo finale di griglia, ottimizza i valori di RCS (linea rossa) rendendone simile il comportamento EM a quello di una piastra piana metallica.

# La caratterizzazione EM della griglia – Misure RCS e di SE

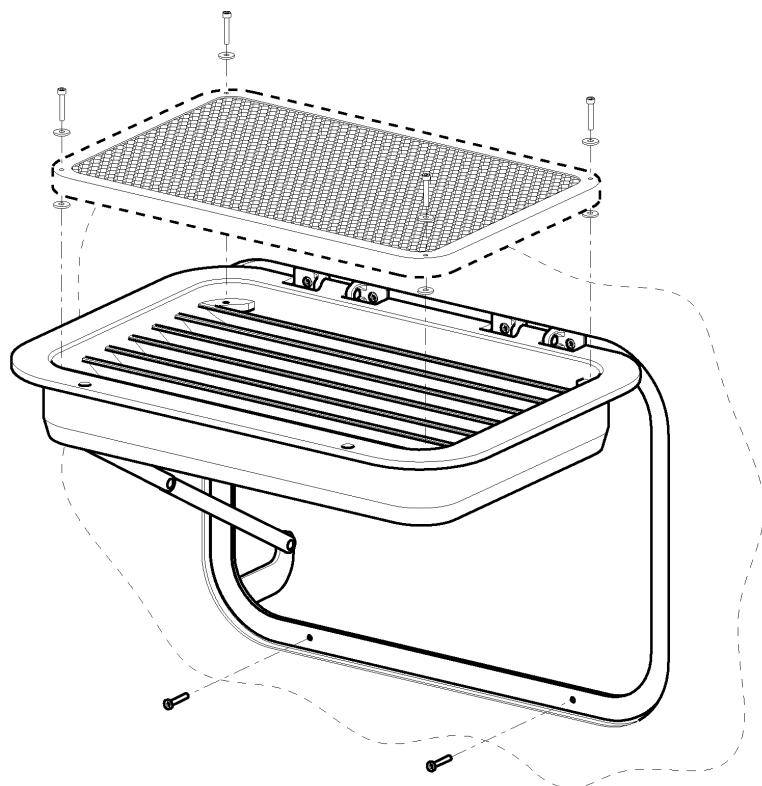
## Sintesi dei risultati delle misure RCS e di SE

Configurazione griglia	valor medio RCS dBsm	worst case SE (1-way) dB@16GHz	Installabilità su Unità Navali
Prototipo iniziale griglia (fase 1 sperimentazione)	-3	3	RCS controllata
Prototipo finale griglia (fase 2 sperimentazione)	-10.4	26.8	Nave Invisibile
PEC	-21		

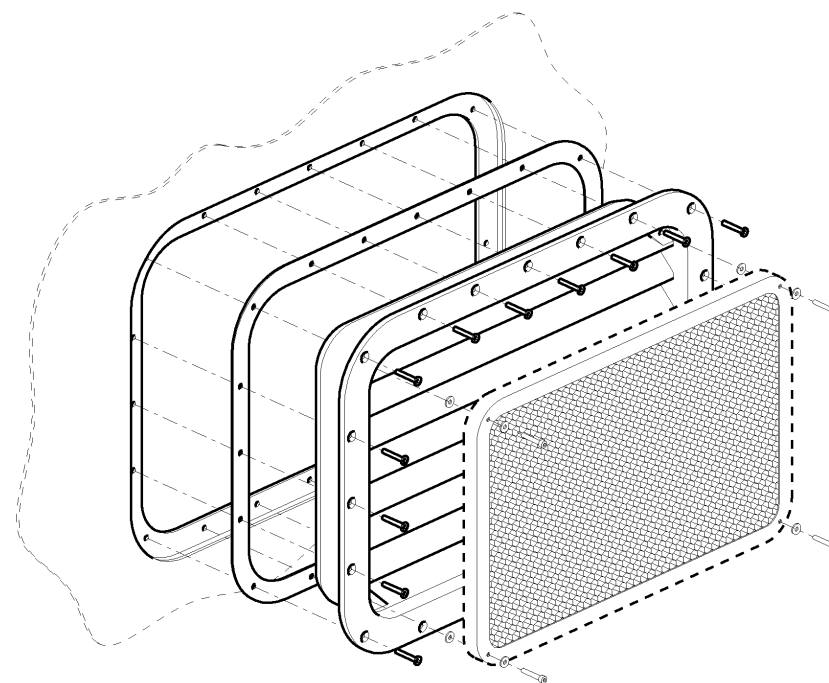
Dal confronto dei valori misurati in laboratorio e di requisito richiesti per la classificazione EM degli “outfitting”, si può concludere che il nuovo progetto di griglia di ventilazione risulta installabile su Unità Navali classificate dal punto di vista della segnatura RCS come “Invisibili

## Soluzioni sviluppate a seguito della fase di sperimentazione

Gli esiti positivi ottenuti dalla sperimentazione in laboratorio hanno attivato una successiva fase di validazione sul campo che prevede l'installazione di quattro differenti tipologie di griglie di ventilazione a bordo di una Unità Navale FREMM- Nave RIZZO per verificarne il comportamento nell'ambiente operativo marino e le procedure di manutenzione.



Disegno tipico griglia apribile



Disegno tipico griglia imbullonata

➤ **Dettaglio - Griglia RCS 800x600 SCAE SMOKE EXH Overpressure – Ponte 02 DN Ord.40**

Sostituzione della griglia esistente (fig. 1) con griglia apribile di nuova concezione (fig. 2), dotata di unico pannello RCS (fig. 3)



Figura 1

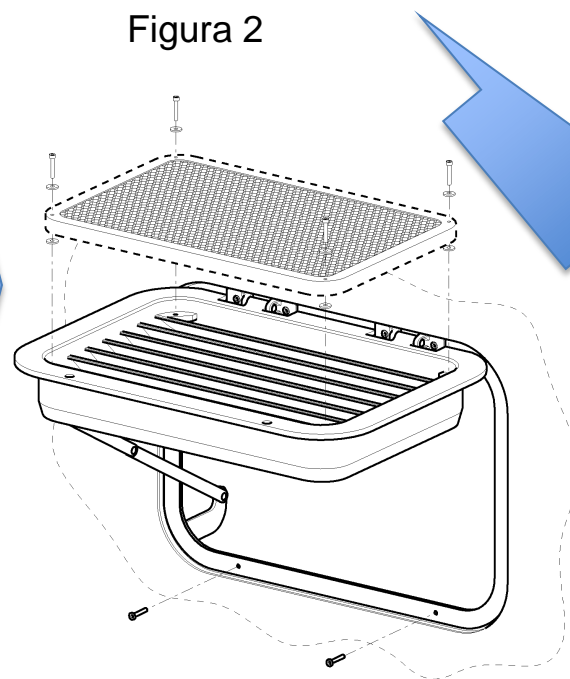


Figura 2

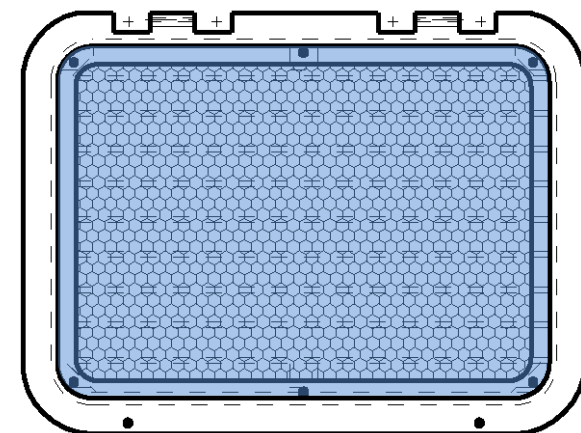


Figura 3

## ➤ Dettaglio - Griglia RCS 1250x1800 513-V-400 – Ponte 02 DN Ord.49

Sostituzione della griglia esistente (fig. 1) con griglia imbullonata di nuova concezione dotata di un doppio pannello RCS interscambiabile (fig. 2).



Figura 1

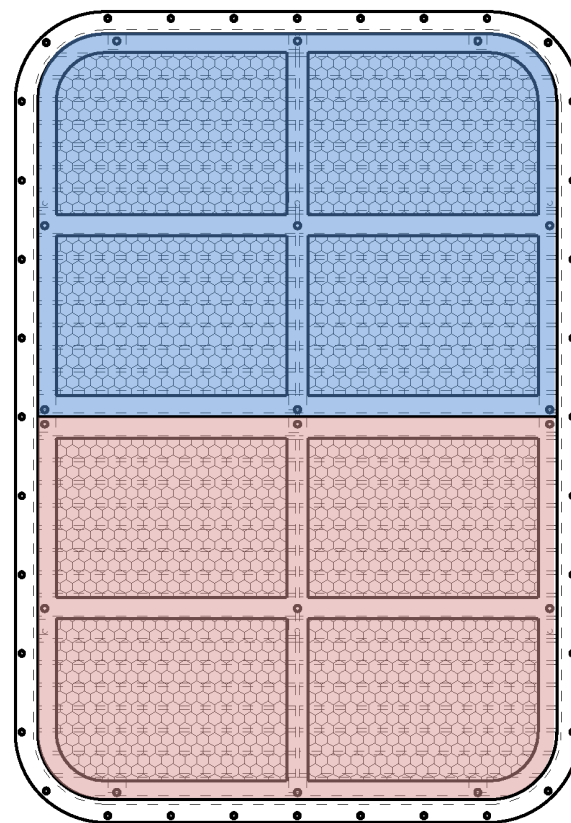


Figura 2

## ➤ Dettaglio - Griglia RCS 1500x2000 251-T-401 – Ponte 02 DN Ord.65

Sostituzione della griglia esistente (fig. 1) con griglia imbullonata di nuova concezione (fig. 2) dotata di n°4 pannelli RCS intercambiabili.



Figura1

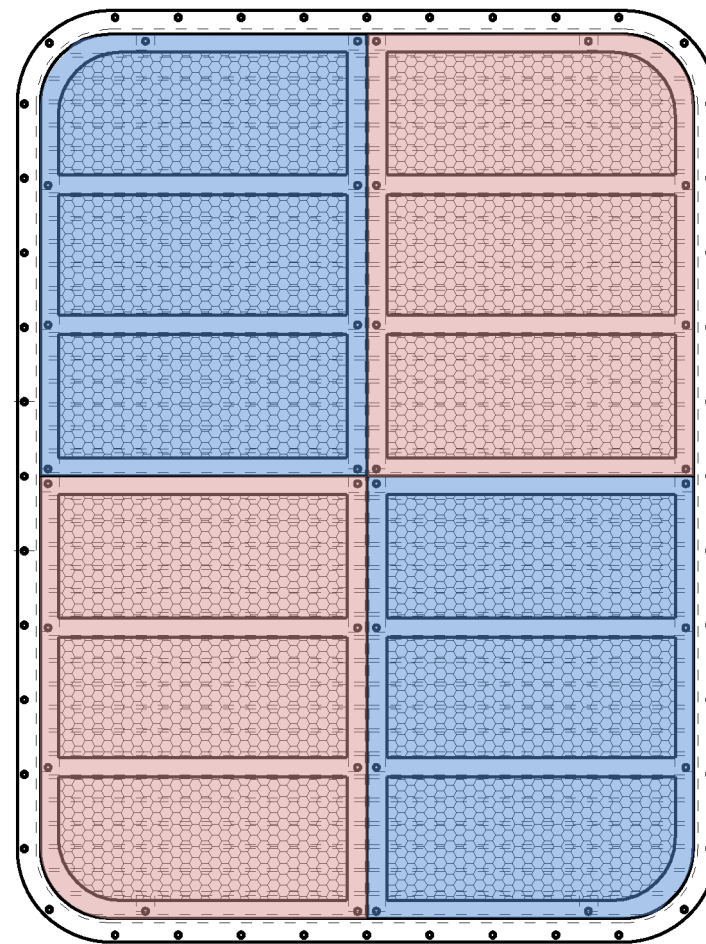


Figura 2

## ➤ Dettaglio – Griglia RCS 1050x1050 SCAE ET 2.08 – Ponte 01 SN Ord.102

Sostituzione della griglia esistente (fig. 1) con griglia imbullonata di nuova concezione dotata di unico pannello RCS fissato con viti (fig. 2).



Figura 1

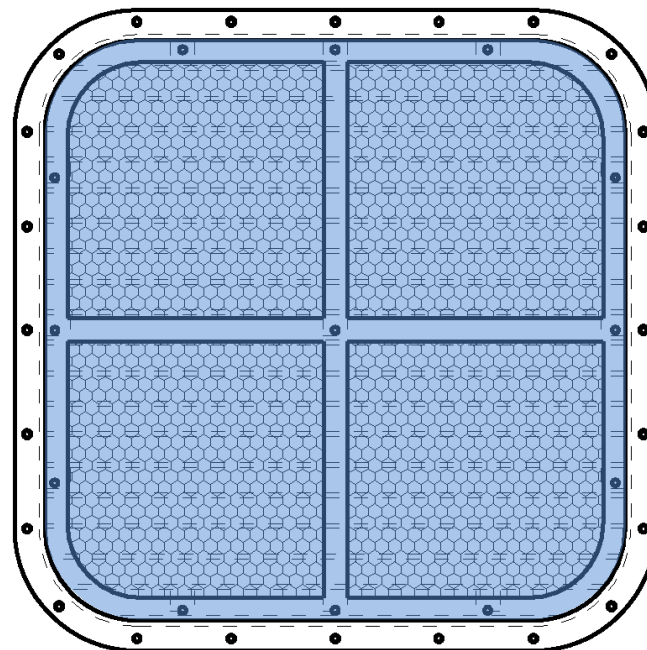


Figura 2

**Grazie**  
**per l'attenzione**



# STUDIO E SVILUPPO DI MATERIALI SELETTIVI IN FREQUENZA E RADAR ASSORBENTI

M. Ciattaglia, G. Gibilaro, A. Guarrera, S. Mosca, L. Pisu, A. Bozzone

31 Maggio 2017



# Sommario

- Materiali selettivi in frequenza (FSS)
  - Introduzione ADT-NG
  - Layout e principio di funzionamento antenna
  - Principi di funzionamento FSS
  - Realizzazione FSS conforme
  - Misure vs sim FSS reticolo triangolare
  - Misure preliminari antenna
- Materiali e Soluzioni per la RCSR (Radar Cross Section Reduction)

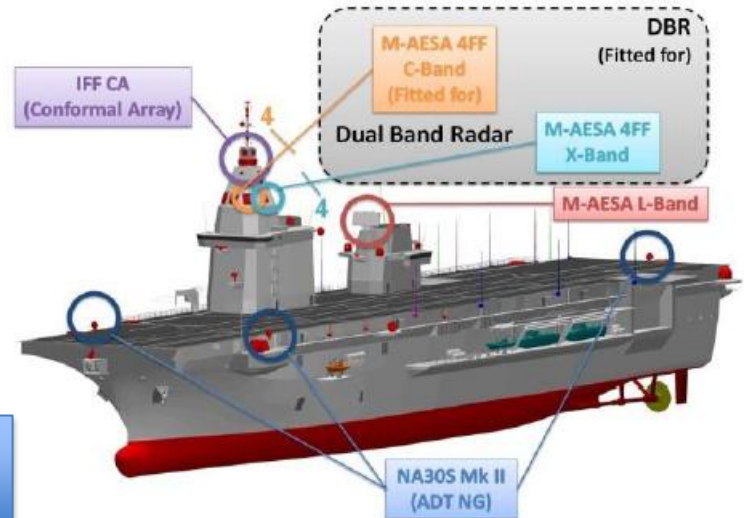
# Utilizzo radar ADT NG

**PPA**

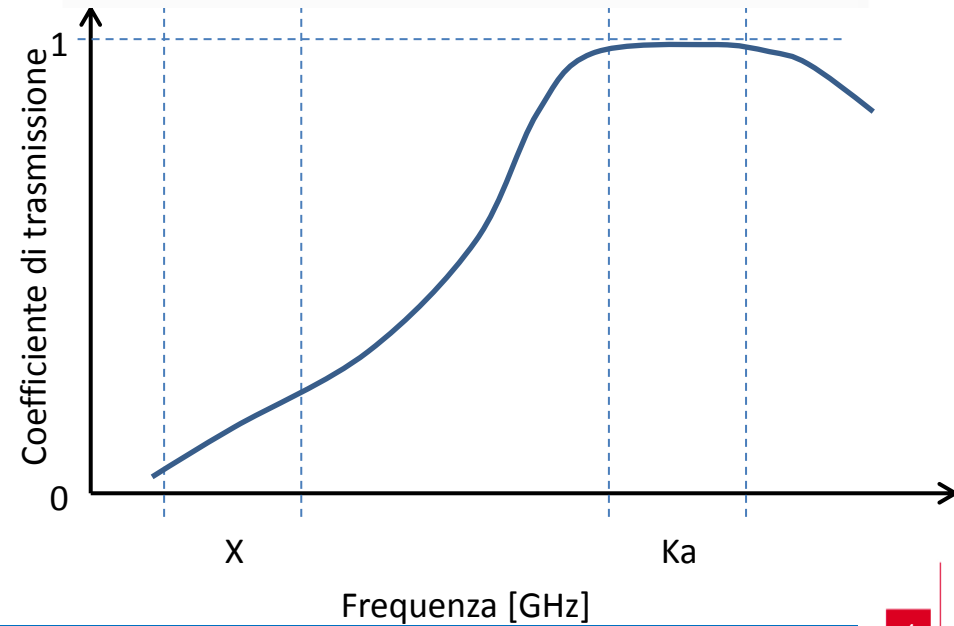
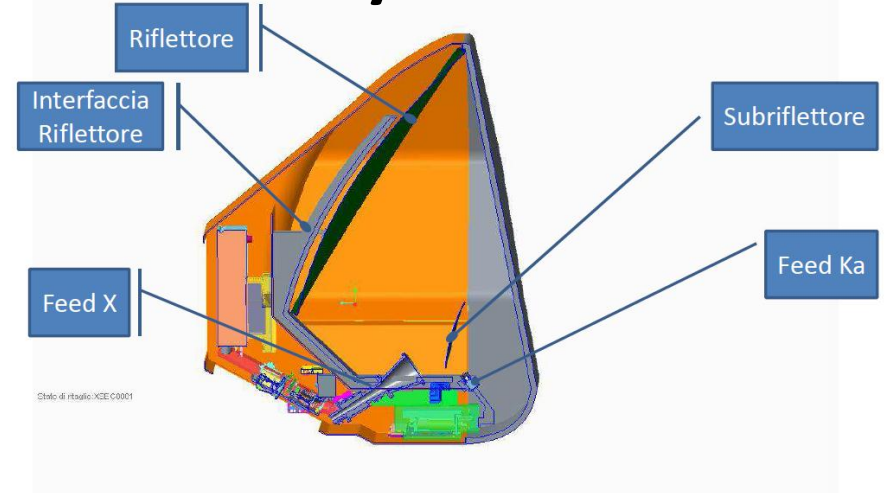
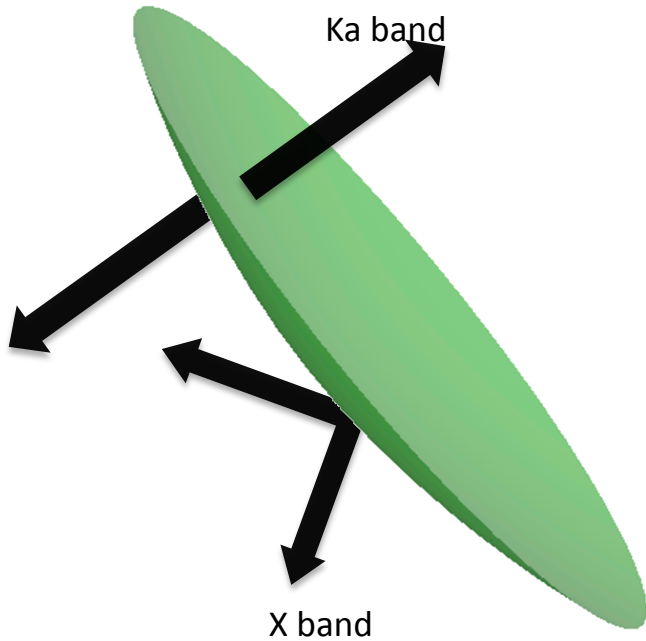


ADT-NG  
Apparato Direzione di Tiro di  
Nuova Generazione

**LHD**

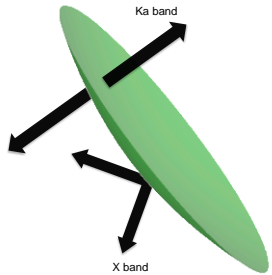


# Antenna ADT NG: layout



Il subriflettore deve essere trasparente in Banda Ka e riflettente in Banda X.

# FSS: possibili soluzioni



I requisiti possono essere soddisfatti utilizzando una superficie selettiva in frequenza (FSS) passabanda, che richiede l'uso di elementi a slot risonanti.

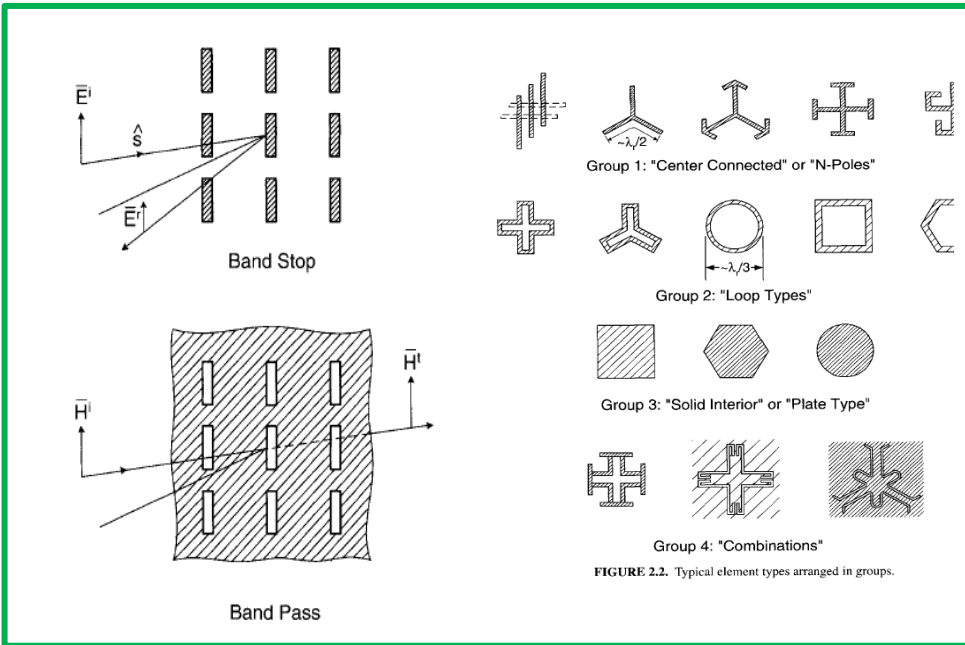
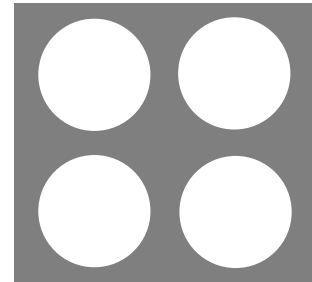
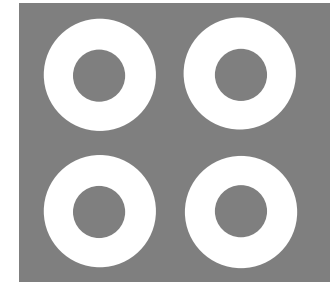


FIGURE 2.2. Typical element types arranged in groups.

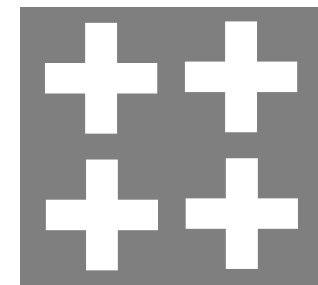
Slot circolari



Slot ad anello



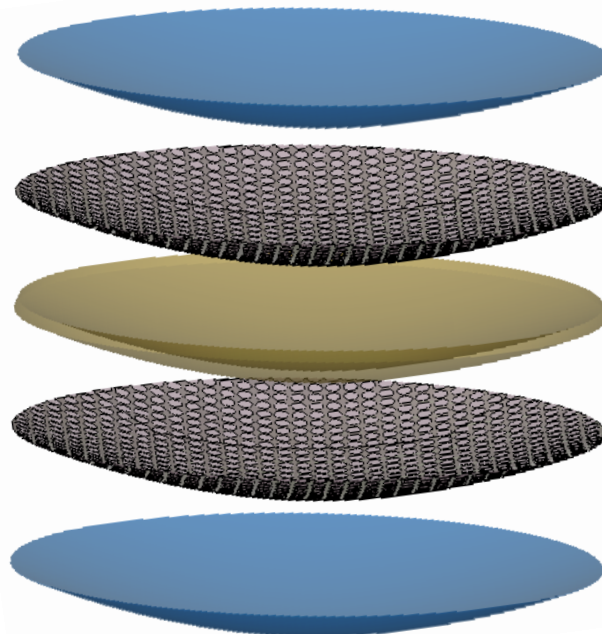
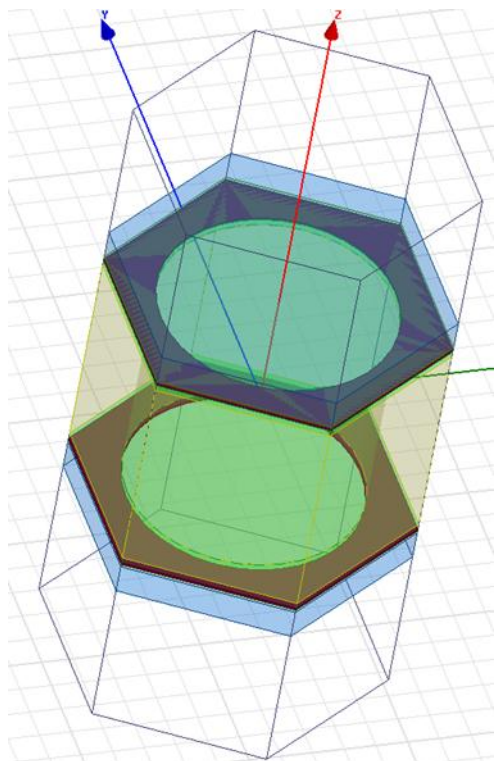
Slot a croce



B.A. Munk, Frequency Selective Surfaces: Theory and Design, John Wiley & Sons

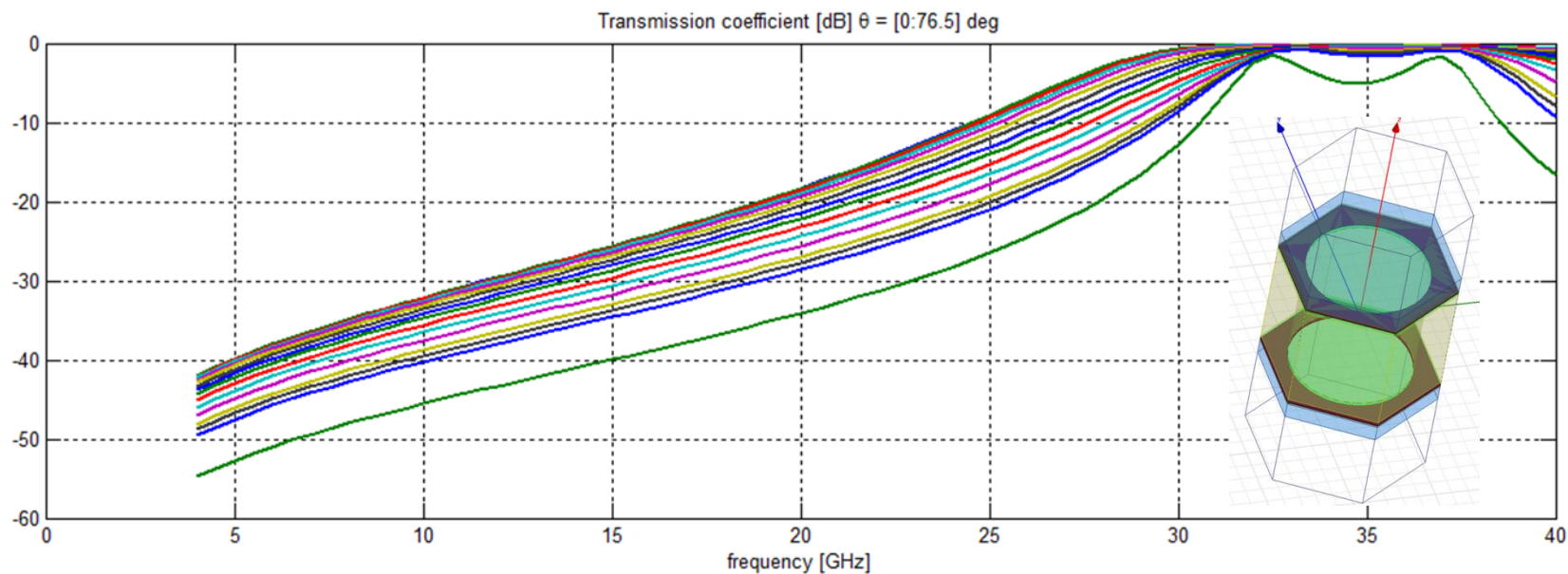
Sulla base dei requisiti si è deciso di utilizzare una struttura FSS con slot risonanti di tipo circolare

# FSS: soluzione adottata



Le simulazioni sono state eseguite con il software HFSS in configurazione cella periodica, ipotizzando una superficie piana. La cella periodica è tipicamente utilizzata anche per il design di superfici leggermente conformi.

# FSS: risultati delle simulazioni

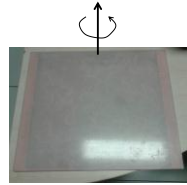
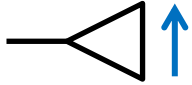


I risultati delle simulazioni mostrano il soddisfacimento del requisito sul coefficiente di trasmissione in banda X, Ka e per ogni angolo di incidenza richiesto.

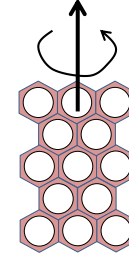
# FSS: Validazione sperimentale

Sono state eseguite 4 misure su entrambe le bande di frequenza (X e Ka):

a)



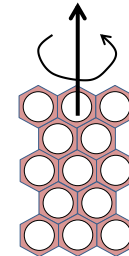
Con i fori così disposti:



b)



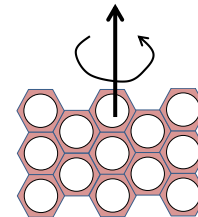
Con i fori così disposti:



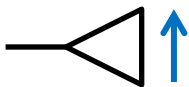
c)



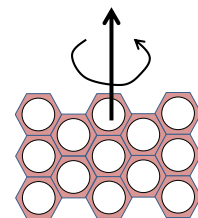
Con i fori così disposti:



d)



Con i fori così disposti:

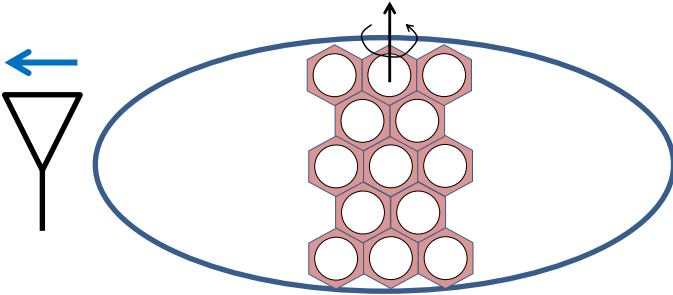


Casi di interesse  
per il design

# Misura B



Pannello in orizzontale,  
horn polarizzata in orizzontale

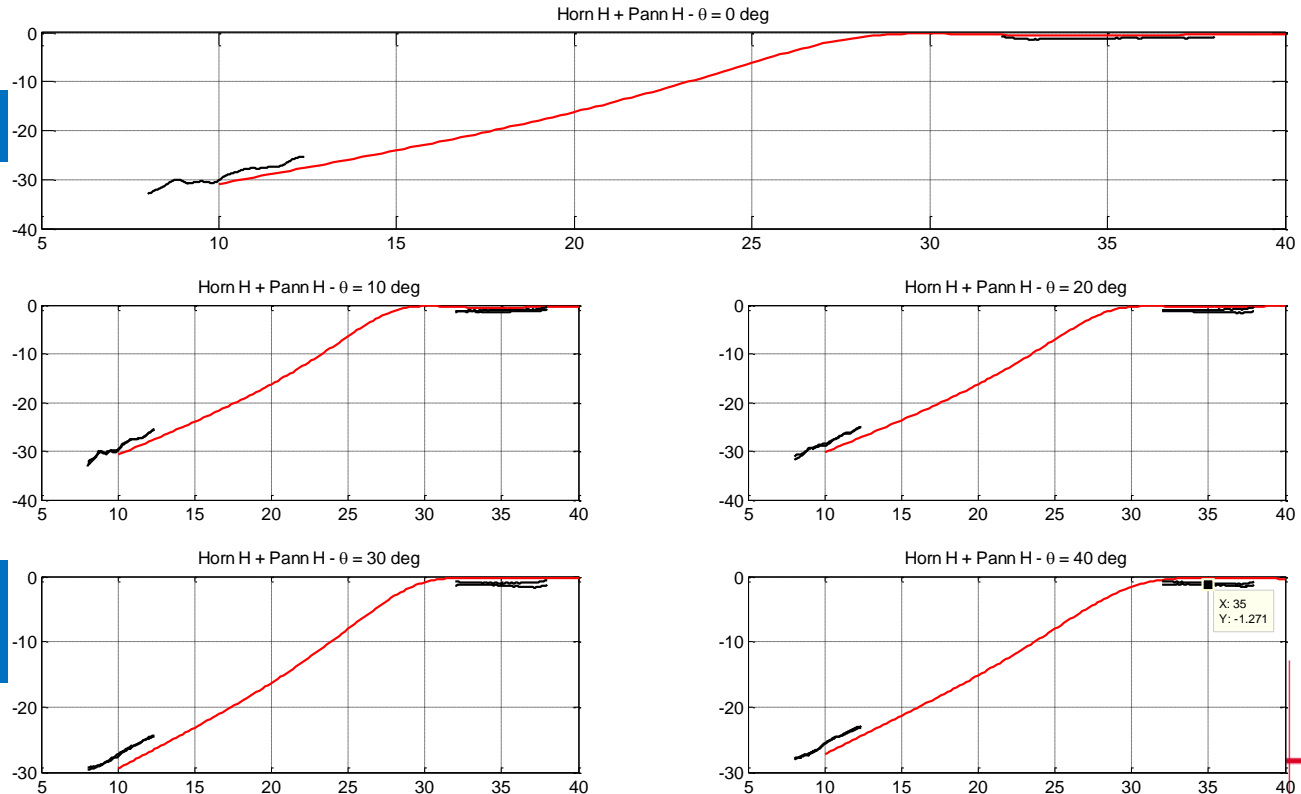


**Rosso:** Simulazione  
**Nero:** Misura

Caso di interesse per il design

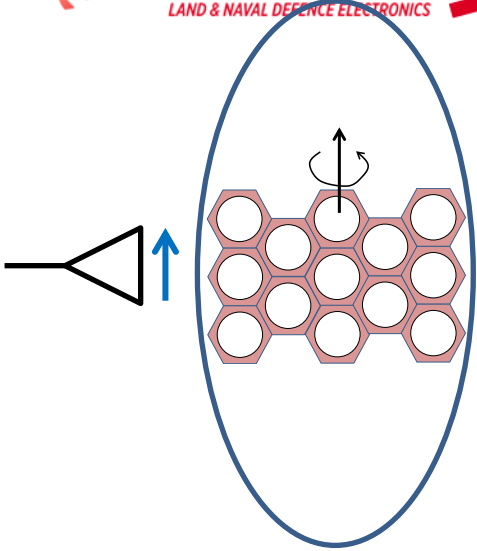
		TE	TM
X	theta min	0°	20,8°
	theta max	16,5°	76,5°
Ka	theta min		18,5°
	theta max	36°	62,5°

Le misure sono in buon  
accordo con le simulazioni



# Misura D

Pannello in verticale,  
horn polarizzata in verticale

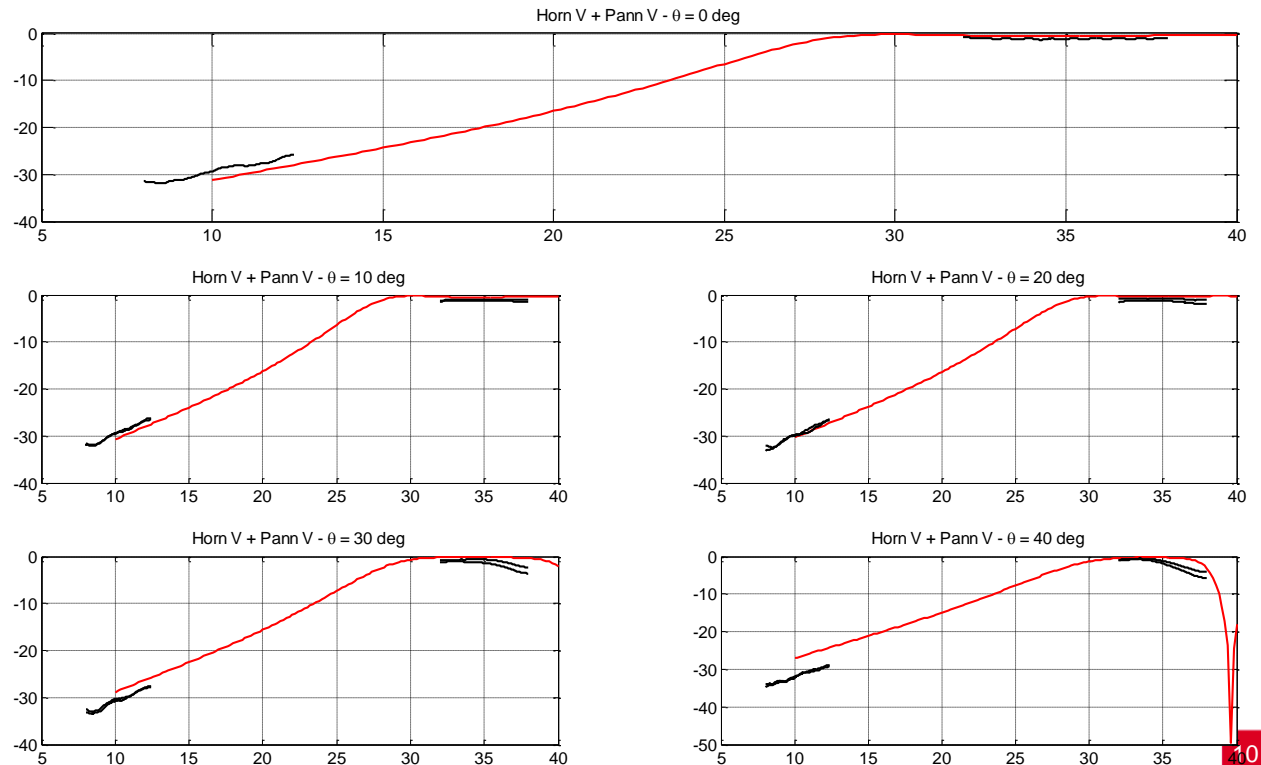


**Rosso:** Simulazione  
**Nero:** Misura

Caso di interesse per il design

		TE	TM
X	theta min	0°	20,8°
	theta max	16,5°	76,5°
Ka	theta min		18,5°
	theta max	36°	62,5°

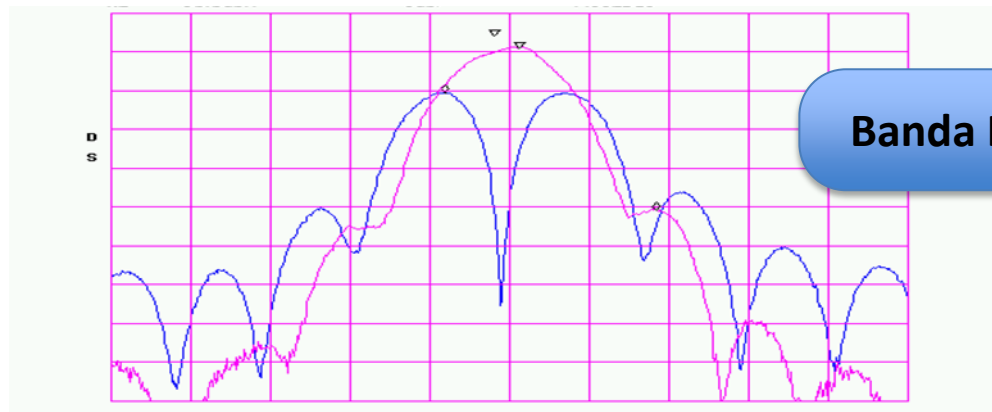
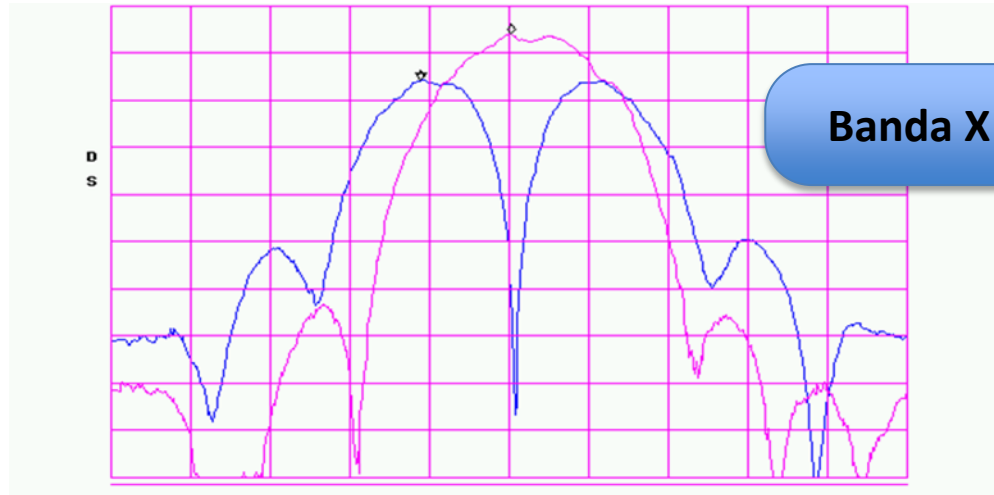
Le misure sono in buon  
accordo con le simulazioni



# Antenna ADT NG



# Antenna ADT NG: pattern preliminari



## Materiali e Soluzioni per la RCSR (Radar Cross Section Reduction)

- Nonostante lo “Shaping” del velivolo continui ad essere il primo aspetto da considerare ai fini della **riduzione della segnatura radar** sotto determinati settori di osservazione, alcune specifiche situazioni richiederanno l’assorbimento dell’energia elettromagnetica incidente al fine di raggiungere il requisito sulla segnatura.
- La Divisione Velivoli di Leonardo S.p.A dispone di una consolidata esperienza nell’ambito delle **metodologie per la riduzione della segnatura Radar** avendo contribuito attivamente a diversi programmi di ricerca militari, nazionali ed europei, sviluppando diverse tipologie di materiali radar assorbenti:

### Radar Absorbing Material (RAM)

- ✓ Progetto RENATA
- ✓ RTP 3.26



### Radar Absorbing Structure (RAS)

- ✓ RTP 3.17
- ✓ AEROCOMP



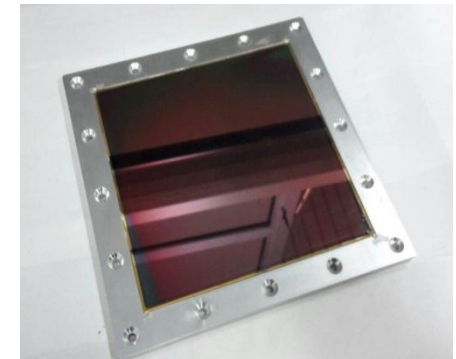
### Radar Absorbing Paints (RAP)

- ✓ Progetto RAPTORS



### Frequency Selective Surface (FSS)

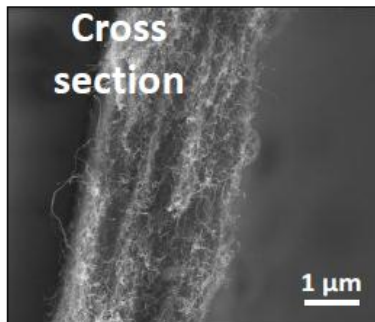
- ✓ Progetto TROFEO
- ✓ Progetto REMO
- ✓ Progetto NMP



## Progetto VELOGRAF (Vernici e Compositi con intrusioni di grafene)

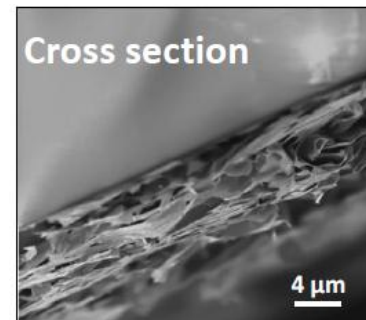
- La Divisione Velivoli ha recentemente attivato una collaborazione con il Centro di Nanotecnologie applicate all'Ingegneria dell' Università La Sapienza (CNIS).
- Il progetto VELOGRAF mira al raggiungimento di 2 obiettivi:
  1. Sviluppare e sperimentare un processo proprietario Leonardo per la **produzione di parti strutturali aeronautiche** con caratteristiche di Bassa Osservabilità Radar utilizzando compositi aeronautici con intrusioni di nano-particelle di grafene
  2. Sviluppare e sperimentare un processo per la **produzione e spruzzatura di vernici** con caratteristiche di Bassa Osservabilità utilizzando vernici aeronautiche caricate con nano-particelle di grafene
- Il processo VELOGRAF prevede la dispersione all'interno di una matrice polimerica di specifiche nanoparticelle di grafene, chiamate **GNP (Grafene Nano Platelets)**, le quali presentano, rispetto ad altri droganti quali i nanotubi in carbonio (CNT), una migliore distribuzione, senza formazione di aggregati e si distinguono dunque per una migliore lavorabilità associata ad elevate prestazioni EM.

CNT



*Le aree chiare indicano agglomerati di nanotubi che causano proprietà EM disomogenee*

GNP



*Le nano-placchette di grafene mostrano una distribuzione sufficientemente uniforme*

## Progetto VELOGRAF (Vernici e Compositi con intrusioni di grafene)

- L'intrusione delle nanoparticelle di grafene all'interno della matrice polimerica (vernice o resina) modifica la **permettività elettrica** del polimero stesso.
- Tramite un set di **caratterizzazioni** dedicate di provini in guida d'onda e tramite l'ausilio di un opportuno codice ottimizzatore per lo sviluppo di strutture multistrato (sviluppato in VELOGRAF) sarà possibile:

1. Prevedere in che modo il drogaggio influisca sulle proprietà EM del materiale all'interno delle bande di frequenza considerate di interesse.
2. Progettare il materiale **in base a specifici requisiti proprietari** in termini di drogaggio, numero e spessore degli strati, tolleranze realizzative, modalità di installazione delle patches (o strutture) assorbenti.



- A valle delle **prove funzionali** (attenuazione elettromagnetica) è previsto un set di caratterizzazioni ambientali e meccaniche (es. adesione delle vernici, trazione e flessione del composito, etc.) con un duplice scopo:
  - A. Discriminazione effetto del drogaggio sulle prestazioni ambientali / meccaniche del materiale tramite «valutazione delta» con il baseline
  - B. Verifica mantenimento dell'attenuazione elettromagnetica a valle degli stress meccanici e ambientali tramite un ulteriore ciclo di prove RF
- Il progetto si concluderà con lo sviluppo e testing di un dimostratore (componente reale aeronautico) in scala 1:1

# Conclusioni

- FSS:
  - Progettata e realizzata superficie FSS con capacità passanti in banda Ka e riflettenti in banda X
  - Insieme al fornitore è stato studiato il processo per realizzare la superficie FSS conforme
  - Le misure mostrano un buon accordo con le simulazioni.
  - Mostrati diagrammi di radiazione preliminari dell'antenna
- Materiali RCSR:
  - Descrizione studio di materiali/vernici con capacità radar assorbenti contenenti GNP (Grafene Nano Platelets).