

METODI DI PREDIZIONE E VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI HERP NEL REALE AMBIENTE OPERATIVO NAVALE

Stefano Chiti*, Flavio Marsich*, Antonio Benedetti*, Alfredo Osso*

**IDS Ingegneria Dei Sistemi S.p.A.*

INTRODUZIONE

L'esigenza di ottimizzare il progetto elettromagnetico delle moderne piattaforme navali scaturisce da un'ampia classe di requisiti operativi e prestazionali fra i quali emerge con sempre maggiore rilievo la valutazione delle emissioni di bordo finalizzata al controllo dei rischi di esposizione del personale alle radiazioni elettromagnetiche.

La piattaforma navale, ed in particolar modo la piattaforma navale militare, costituisce un esempio significativo di concentrazione di emittenti, operanti su un ampio spettro di frequenze, in uno spazio limitato soggetto a stazionamento e transito di personale. La contemporanea presenza di più emissioni e la densità degli emittitori di potenza generano in tale situazione uno degli ambienti operativi più complessi da valutare e gestire rispetto al rischio HERP.

Da questi motivi nasce l'esigenza di utilizzare metodi di rilievo e analisi dei campi elettromagnetici presenti a bordo nave nelle reali condizioni operative, tenendo conto dell'insieme delle complesse interazioni che si instaurano in tale ambiente.

Al fine di rispondere all'esigenza formulata dalla Amministrazione Difesa, sono state sviluppate metodologie di predizione a calcolatore capaci di predire l'ambiente elettromagnetico di bordo e di interpretarne le fenomenologie di propagazione coinvolte. Gli strumenti oggi disponibili consentono di ottimizzare la configurazione di progetto nave e di identificare modelli di gestione operativa delle emissioni finalizzate a ridurre il rischio HERP entro i livelli consentiti.

METODOLOGIA DI PREDIZIONE

Introduzione

Sin dalla data della sua fondazione IDS si è posta come obiettivo prioritario la realizzazione di codici di simulazione elettromagnetica destinati allo studio installativo di antenne in ambienti complessi (navi, aerei, aeroporti, ecc.). Tali codici elettromagnetici, messi a punto nel corso degli anni, sono oggi utilizzati nell'ambito di "frameworks" proprietari di procedure interamente sviluppati da IDS; tra di essi emerge quello denominato Ship EDF atto alla valutazione delle prestazioni di antenne, delle EMI intraship, e degli ambienti elettromagnetici a bordo nave; quest'ultima valutazione trova applicazione nella determinazione del pericolo di natura elettromagnetica sul personale, e consente di valutare sia i rischi da esposizione diretta che indiretta (combustibili, esplosivi, ecc.).

Descrizione del sistema

Ship EDF fornisce un ambiente di simulazione per il Progetto Elettromagnetico di unità navali moderne e copre tutte le applicazioni EMC e RADHAZ nonchè lo spettro di frequenza di tutte le antenne in uso sulle navi di ultima generazione.

La interfaccia utente principale di Ship EDF si presenta come riportato in Fig. 1.

I codici solutori principalmente utilizzati sono i seguenti:

- Metodo dei Momenti nel dominio della frequenza con la formulazione completa integrata wire/patch;

- Teoria Geometrica della Diffrazione (GTD) nella sua formulazione uniforme, conosciuta anche come Teoria Uniforme della Diffrazione (UTD);
- Ottica Fisica (PO) Teoria Fisica della Diffrazione (PTD) con l'estensione alla Teoria Incrementale della Diffrazione (ITD).

Valutazioni RADHAZ

Dopo una imprescindibile fase di modellistica basata su CAD 3D, Ship EDF consente di effettuare la valutazione dei livelli di campo elettromagnetico medi e di picco generati dalle diverse tipologie di emissione: emissione singola di una determinata antenna, varie emissioni di una antenna larga banda o, nei casi più complessi, dei diversi radiatori di unità di antenna complesse (es. radar di inseguimento). Tali antenne possono essere fisse, ruotanti, puntabili o con fascio variabile elettricamente o una combinazione delle sopradette casistiche.

Per mezzo dei codici solutori vengono valutati i livelli di campo elettromagnetico su una o più scansioni di punti (volumetriche o planari) in zone di interesse; per ogni punto vengono forniti i vettori completi campo elettrico E e campo magnetico H valutati con la formulazione di campo vicino.

Tali livelli di campo elettromagnetico restano a disposizione per le successive fasi di valutazione del rischio da esposizione radiata effettuato per mezzo di apposito codice di postprocessazione RADHAZ dedicato; il sistema opera con modalità completamente automatica il recupero dei dati di campo elettromagnetico, dei livelli limite di normativa presenti in libreria, ecc..

Infine il sistema valuta e rappresenta graficamente l'estensione spaziale del pericolo direttamente su disegno CAD 3D, per una rapida investigazione dell'impatto sulla nave (vedi Fig. 2).

A tale riguardo occorre precisare che il sistema mantiene un aggancio tra tali risultati e le informazioni di provenienza per mezzo di un data base; pertanto, per esempio, le intensità di campo elettromagnetico vengono scalate per l'effettiva potenza radiata e riferite ai limiti applicabili (frequenza, media, picco, tempo).

Le valutazioni RADHAZ possono essere effettuate virtualmente su qualsiasi tipo di normativa; Ship EDF è stato utilizzato ampiamente con i livelli limite delle principali norme di esposizione diretta (es. rife [D3], [D6], [D8], [D9], [D10], [D12]) e di rischio indiretto causato da combustibili ed esplosivi. Si veda in Fig. 5 esempio di interfaccia di definizione, import e visualizzazione dei livelli limite delle normative.

Da notare che per le applicazioni RADHAZ, Ship EDF può essere considerato uno strumento selettivo in quanto consente di effettuare le valutazioni RADHAZ per le configurazioni di emissioni desiderate, selezionare / deselezionare frequenze, analizzare le cause di ciascun pericolo, ecc..

I livelli di campo calcolati presentano un buon livello di affidabilità in quanto i codici sono continuamente sottoposti a operazioni di validazione (vedi Fig. 3 e Fig. 4); da tale attività emerge che le principali cause di incertezza nei risultati non sono rappresentate dai codici o dalla modellistica, che vengono definite dall'analista coerentemente con il grado di accuratezza richiesto, bensì dalla incertezza o incompleta disponibilità dei dati di input (esempio rendimenti di antenne, perdite, ecc.); eventuali difficoltà dovute a incertezza o mancanza di dati di input sono superabili mediante integrazioni con valutazioni ingegneristiche e misure di rilievo delle caratteristiche cruciali mancanti.

La valutazione RADHAZ viene effettuata mediante la sovrapposizione degli effetti delle varie emissioni; può essere importato un livello di fondo spettrale, per tenere conto di pre-esistenti

livelli di campo elettromagnetico non intenzionale generato da apparati di bordo o da unità navali / attrezzature portuali vicine.

Per la verifica dei livelli limite di picco, la sovrapposizione degli effetti di emissioni impulsive (radar) richiede di definire preventivamente quali emissioni considerare in modo da tenere conto della sincronizzazione delle emissioni impulsive dei radar (attuata da una speciale centralina in uso a bordo delle navi maggiori, quale particolare contromisura di protezione ECM dei ricevitori).

Di interesse evidenziare la funzionalità di “antenna ruotante” che consente di tenere conto nel calcolo della media, della non uniforme illuminazione della vittima causata dalla variazione del puntamento dell’antenna sorgente. Soprattutto nei casi di antenne fortemente direttive, nonché di livelli limite medi relativamente elevati, le differenze nella estensione volumetrica di pericolo sono significative.

Nel caso di unità in materiale composito la situazione è più complessa, ed è richiesto di effettuare valutazioni di rischio anche internamente all’unità navale. I materiali costituenti le strutture nave possono spaziare dalla vetroresina convenzionale, alla vetroresina con aggiunta di strati schermanti (tessuti, reti, vernici, ecc.) fino al materiale composito vero e proprio generalmente multistrato o vetroresina caricata. Su queste unità navali è inoltre importante tenere conto dell’effetto introdotto dalle strutture metalliche e dal sistema di cavi interni alla nave.

Nel caso particolare dei combustibili, l’innesco dei vapori avviene a seguito di una scintilla casuale che si viene a formare su un aleatorio “gap” nella continuità di una struttura conduttrice esposta al campo elettromagnetico ambientale; è attualmente in programma una modifica della modalità di sovrapposizione degli effetti della funzione HERF (RADHAZ su combustibili) di Ship EDF, allo scopo di tenere conto della selettività della predetta struttura, senza la quale in determinati casi il calcolo della sovrapposizione degli effetti determinerebbe una eccessiva sopravvalutazione del rischio.

VALUTAZIONI OPERATIVE

Ship EDF rappresenta un tool di progetto complesso concepito per impiego nell’ambito di un ambiente di progettazione complesso; esso tuttavia non è idoneo per gestire le situazioni operative a bordo nave.

A tal fine IDS ha sviluppato un codice prototipico denominato NACOMP (Naval Communication Management Program) con l’intento di fornire supporto al gestore dell’impianto TLC-HF di una specifica unità navale al fine di superare le difficoltà insite nella ottimizzazione di una configurazione di impianto TLC (vedi Fig. 7), la cui casistica può essere anche molto ampia (vedi Fig. 8).

NACOMP trova interessante ed utile applicazione nella gestione delle trasmissioni di bordo ai fini HERP in quanto consente anche di effettuare valutazioni dirette e inverse di pericolo sul personale, tenendo conto delle esigenze di radiazione ai fini delle comunicazioni.

Una idonea interfaccia informatica consente il trasferimento verso NACOMP dei dati di campo elettromagnetico prodotti da Ship EDF o quelli provenienti dalla misura; tali dati sono prodotti off-line per ogni zona della nave di interesse ai fini RADHAZ, sotto forma di statistica (max, min) per ogni emissione/frequenza, e sono riferiti a condizioni unitarie in modo da consentire a NACOMP non solo di selezionare la emissione / frequenza di interesse, ma anche di scalare opportunamente l’ampiezza in funzione delle potenze operative e delle normative applicabili.

Inoltre NACOMP dispone in archivio di ulteriori informazioni quali i diagrammi di radiazione delle antenne e quelle necessarie al calcolo delle EMI (livelli di accoppiamento tra antenne e le caratteristiche di emissione e di suscettività degli apparati). Esso dispone inoltre di apposita interfaccia verso l’unità di gestione apparati definita tenendo conto dei principi di funzionamento

di moderne console in uso a bordo delle navi della Marina Militare; da precisare che tale interfaccia con gli apparati nave è tentativa in quanto NACOMP è attualmente un prototipo non ancora in uso a bordo.

Tali informazioni, sia di input che di apparato, vengono utilizzate da NACOMP per effettuare automaticamente una ottimizzazione di impiego della stazione TLC di bordo in termini prestazionali, al fine di selezionare uno scenario con le antenne più performanti ed il minimo di interferenze a livello di apparato, tenendo conto dei vincoli HERP. Tale ottimizzazione viene effettuata attraverso un algoritmo genetico il quale agisce su determinati parametri (antenne, apparati, canali, potenze ecc.) e tiene in primo luogo conto di vincoli HERP nonchè di altri vincoli (massimi livelli EMI ammessi, piani EMCON, ecc.).

Tra le varie interfacce utente di NACOMP (vedi Fig. 9), da evidenziare in particolare la interfaccia di abilitazione HERP delle zone nave, mediante la quale si stabilisce:

- quali zone sono soggette a “vincolo di protezione” allo scopo di preservare il personale ivi presente;
- la normativa applicabile dipendentemente dalla categoria di personale e del grado di prudenza richiesto.

Le zone possono essere scelte anche in modo da consentire il transito del personale sui ponti scoperti tra le diverse zone della nave.

A termine del processo di ottimizzazione, NACOMP suggerisce l’impiego di determinati canali di comunicazione, sui quali, qualora ritenuto necessario, l’operatore può inserire eventuali override, rilanciando nuovamente una ottimizzazione che tenga conto anche della esperienza o richieste ulteriori dell’operatore.

Prima di adottare la configurazione proposta da NACOMP, l’operatore può verificare le diverse prestazioni e gli stati; da evidenziare in particolare che egli verifica il rispetto delle zone soggette a vincolo HERP in un quadro sinottico, in cui le zone di colore verde rappresentano zone “sicure” e quelle di colore rosso zone a “rischio” di esposizione per il personale. Le zone selezionate per la protezione devono risultare “sicure” al termine del processo di ottimizzazione.

Mediante la selezione di una determinata zona del pannello sinottico, può essere analizzato lo stato di pericolo in tale zona; ciò produce come output una rappresentazione tabellare del peso delle diverse emissioni nella formazione del rischio da esposizione: per ciascuna emissione viene mostrato il rapporto (C) tra il livello di campo ed il corrispondente livello limite di esposizione, in accordo alle normative per esposizione simultanea ad emissioni multiple

$$C_i = \left(\frac{E}{E_{lim}} \right)^2 \text{ oppure } \left(\frac{H}{H_{lim}} \right)^2 \quad C = \sum_i C_i = \begin{cases} > 1 \rightarrow \text{pericolo} \\ \leq 1 \rightarrow \text{sicurezza} \end{cases}$$

In conclusione mediante NACOMP è possibile (in un ambiente comunque complesso) risolvere il problema inverso di stabilire la configurazione che ottimizza le prestazioni del sistema TLC rispettando le zone da sottoporre a protezione HERP; esso consente anche di visualizzare lo stato di pericolo delle zone e di analizzarne le cause per verificare quali emissioni sono pericolose in modo da intervenire settorialmente se necessario.

Poiché la sovrapposizione degli effetti ha tanto maggiore peso nella determinazione del rischio sul personale quanto più bassi sono i livelli limite applicabili (a parità di altre condizioni), è importante sottolineare che NACOMP trova impiego avanzato in tutti quei casi in cui si ricerca la minimizzazione della esposizione a lungo termine, cioè per la minimizzazione del rischio come previsto dalla normativa sulla sicurezza del personale nei luoghi di lavoro.

CONCLUSIONI

L'esigenza di ottimizzare il progetto elettromagnetico delle moderne piattaforme navali e di ottimizzare l'impiego delle risorse di comunicazioni ha portato allo sviluppo di idonei tools che consentono, fra le varie funzioni disponibili, di valutare anche i rischi diretti e indiretti di esposizione del personale all'ambiente elettromagnetico, e di tenere conto dei vincoli da esso introdotti durante la fase di ottimizzazione delle risorse di comunicazione.

I tools presentati sono il risultato di una pluriennale attività di studio e sviluppo, che prosegue tutt'ora al fine di adattare gli stessi tools ai nuovi requisiti imposti dalle applicazioni navali reali ed in particolare le nuove disposizioni di protezione del personale.

Utilizzando queste metodologie, mediante una attività svolta in collaborazione tra CISDEG (Consorzio Italiano Sistemi DEG) e IDS, è stato recentemente predisposto un manuale operativo per la gestione del rischio sul personale dedicato ad una piattaforma operativa della Marina Militare.

ACRONIMI

CAD 3D	Three Dimensional Computer Aided Design
EMC	Electromagnetic Compatibility
EMCON	Electromagnetic Emission Control
HERF	Hazard of Electromagnetic Radiation to Fuel

HERP	Hazard of Electromagnetic Radiation to Personnel
HF	High Frequency
RADHAZ	Radiation Hazard
TLC	Telecomunicazioni

BIBLIOGRAFIA

- [D1] Decreto legislativo 626/94 del 19 settembre 1994 (e successive rettifiche, modificazioni ed integrazioni) "Miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori sul luogo di lavoro"
- [D2] Decreto del Ministro della Difesa 1° febbraio 1997 "Applicazione del decreto legislativo 19 settembre 1994, n. 626 (Individuazione del datore di lavoro)"
- [D3] ICNIRP Guidelines: "Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)", Health Physics Vol. 74, No 4, pp 494-522, April 1998.
- [D4] Raccomandazione del Consiglio, del 12 luglio 1999, "relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz" (GUCE L 199 del 30 luglio 1999).
- [D5] Decreto Ministeriale 14 giugno 2000 n. 284 "Regolamento di attuazione dei decreti legislativi n. 277/1991, n. 626/1994 e n. 242/1996 in materia di sicurezza dei lavoratori sui luoghi di lavoro nell'ambito del Ministero della difesa"
- [D6] STANAG 2345, Edition 3 "Evaluation and Control of Personnel Exposure to Radio-Frequency Fields – 3 KHz to 300 GHz" 13 February 2003.
- [D7] Legge 22 febbraio 2001, n.36 "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici" (GU n. 55 del 07-03-2001)
- [D8] Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 8 luglio 2003 "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz" (GU n. 199 del 28-8-2003)
- [D9] Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 8 luglio 2003 "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti" (GU n. 200 del 29-8-2003)
- [D10] Direttiva 2004/40/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 29 aprile 2004, "sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) (Diciottesima direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 1 della direttiva 89/391/CEE)" (GUCE L 159 del 30 aprile 2004).
- [D11] Stato Maggiore della Difesa. IV Reparto – Logistica e Infrastrutture. SMD-L-020. Edizione settembre 2005. "Disciplinare Tecnico Interforze per la Protezione dalle Radiazioni Non Ionizzanti"
- [D12] Decreto Legislativo 19 novembre 2007, n. 257 "Attuazione della direttiva 2004/40/CE sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici)" (GU n. 9 dell' 11 gennaio 2008)

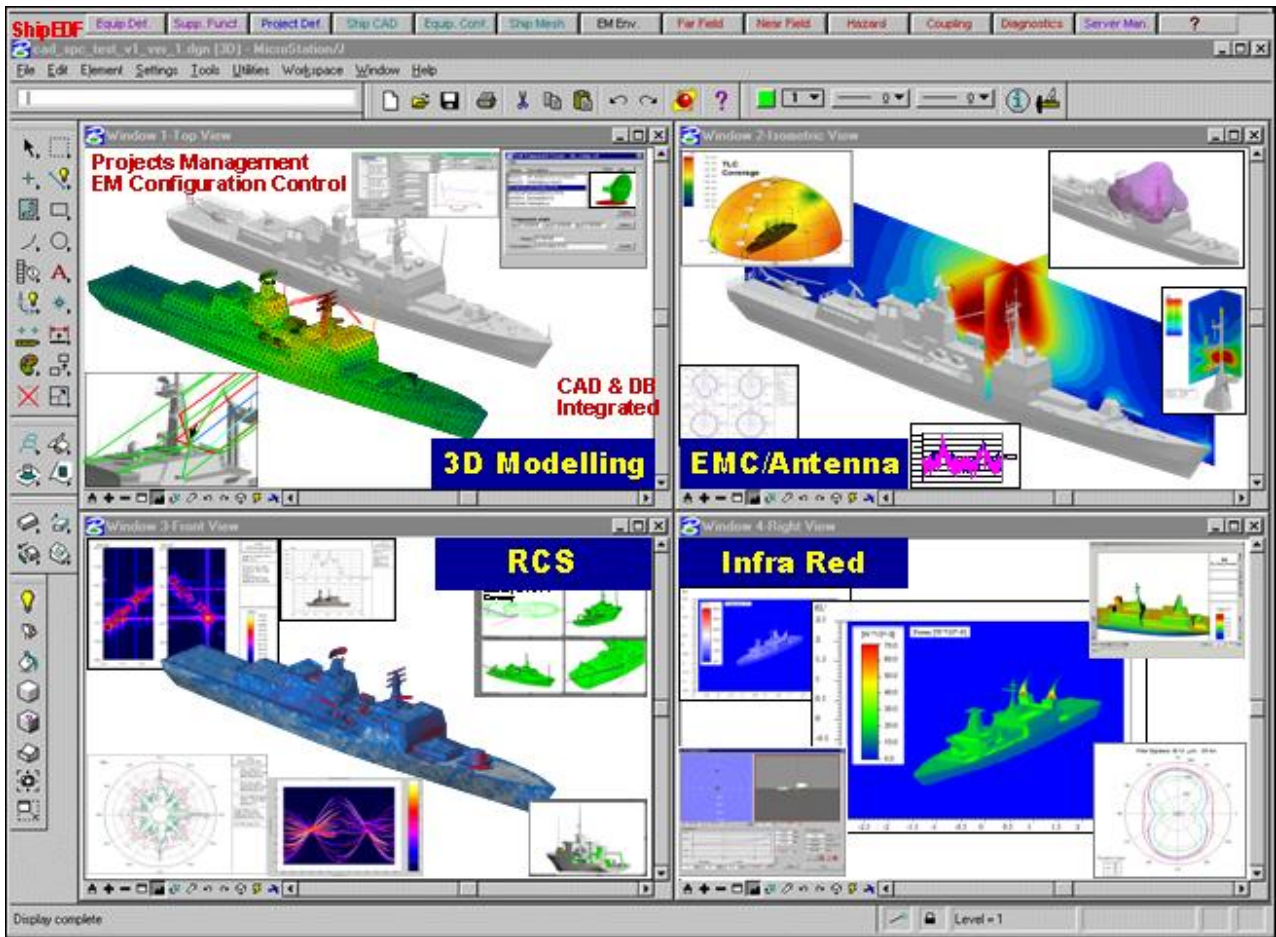


Fig. 1 – Framework di progettazione EM di piattaforme navali (Ship EDF)

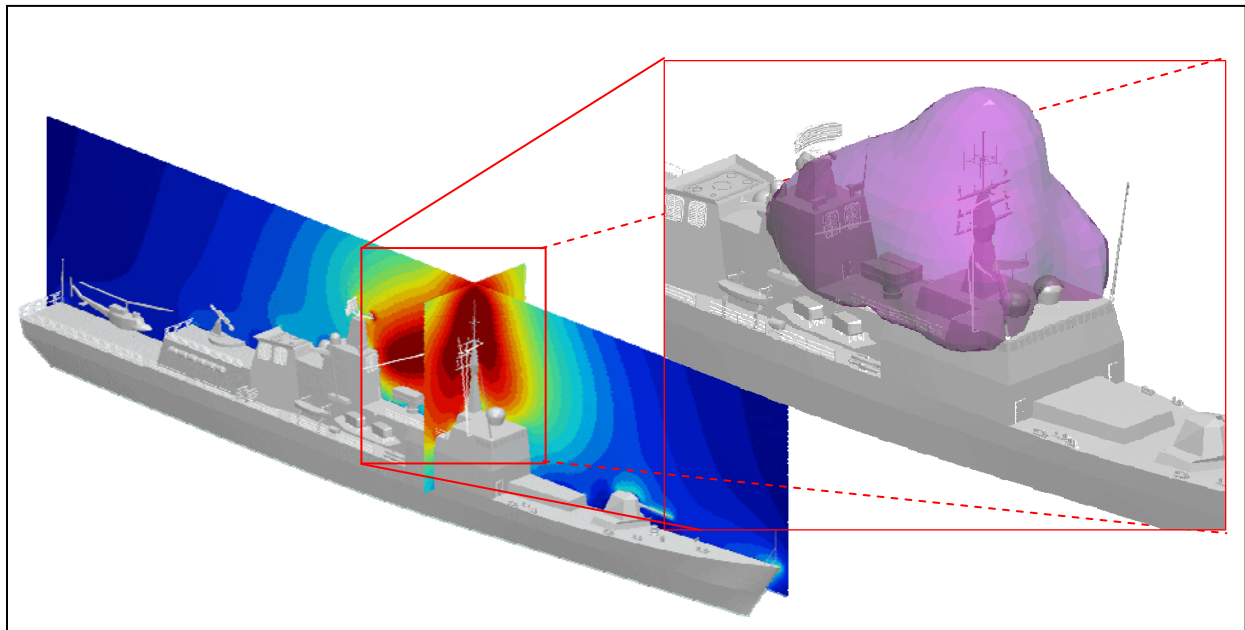


Fig. 2 – Rappresentazione del volume di pericolo sulla base di distribuzione di campo e.m. a bordo

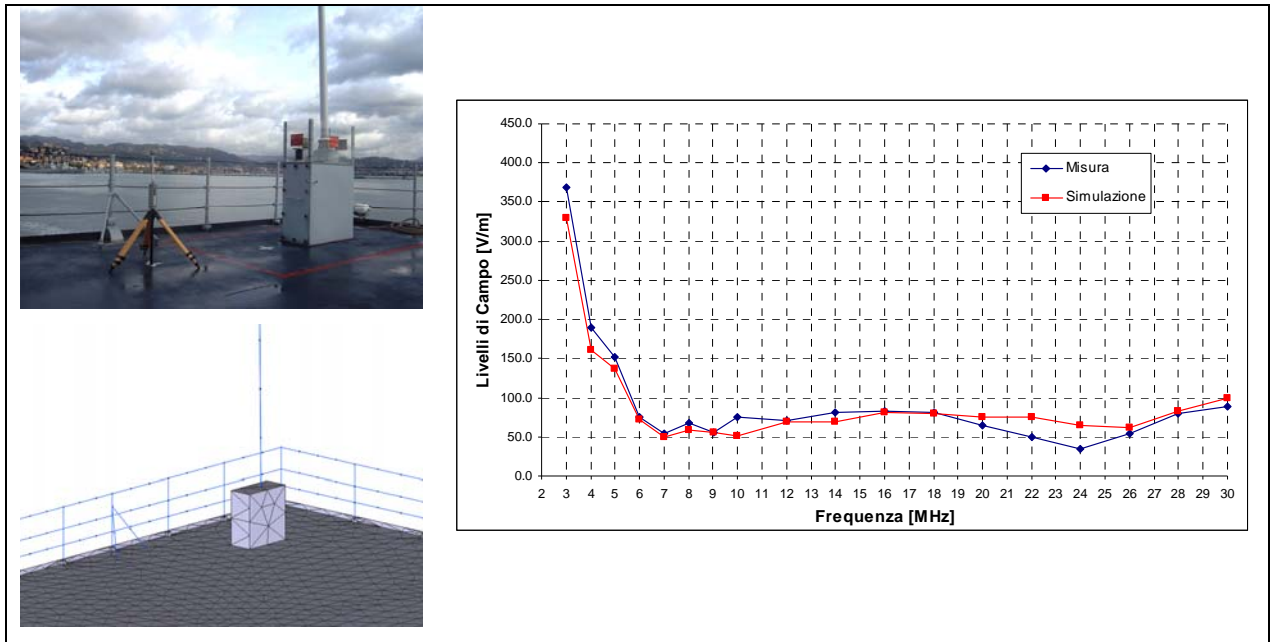


Fig. 3 - Esempio di validazione simulazione misura in banda HF

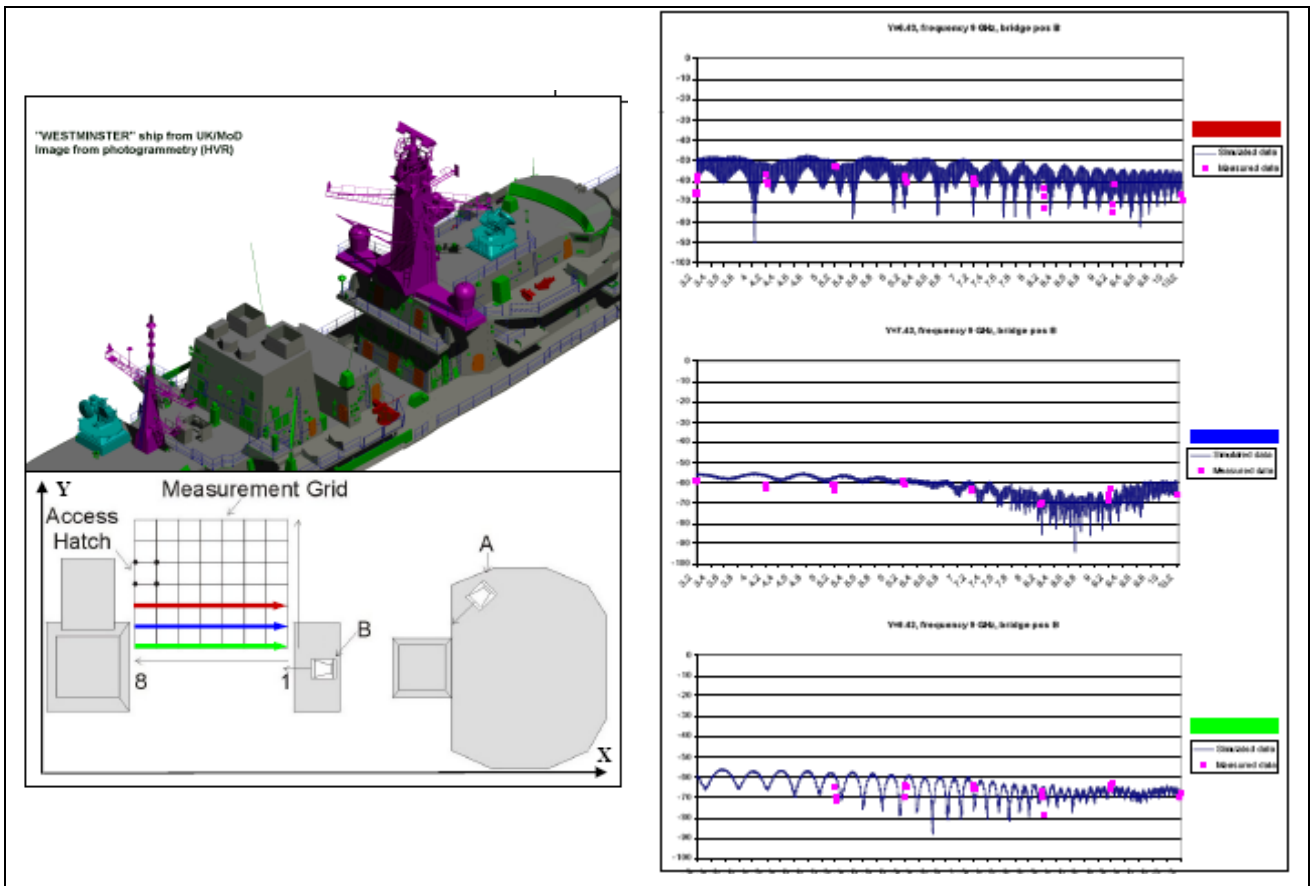


Fig. 4 -Esempio di validazione simulazione misura in banda radar (Courtesy UK MoD)

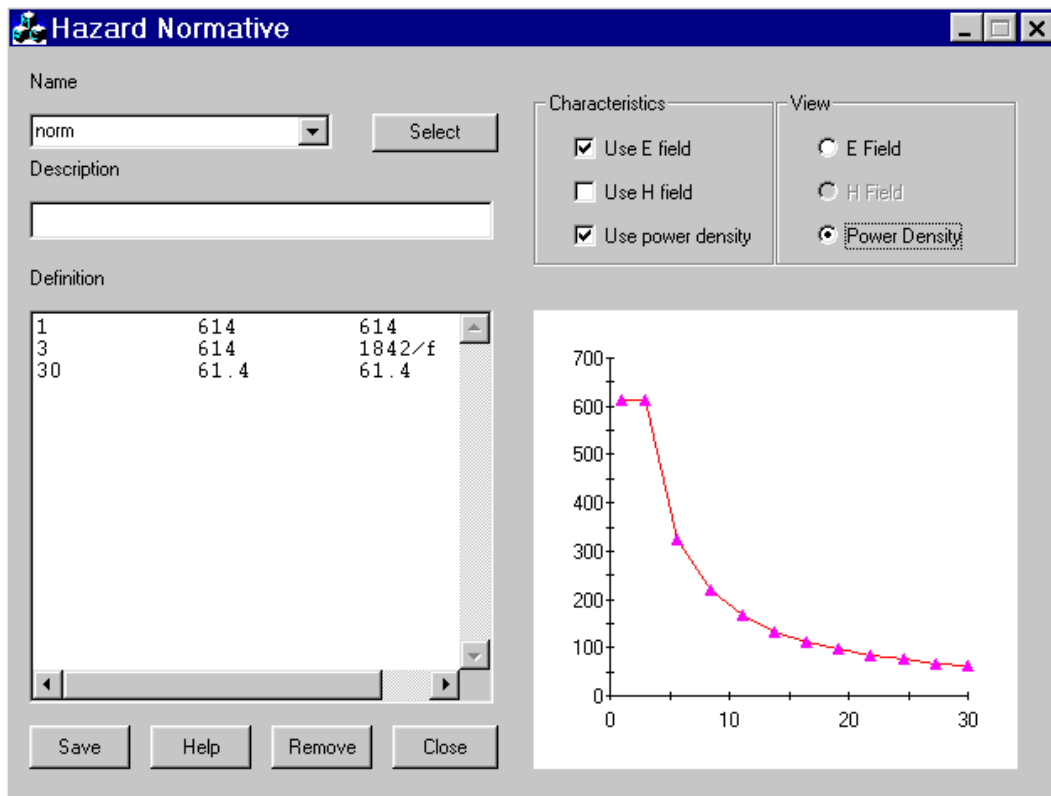


Fig. 5 – Framework Ship EDF. Interfacce utente per la gestione delle normative

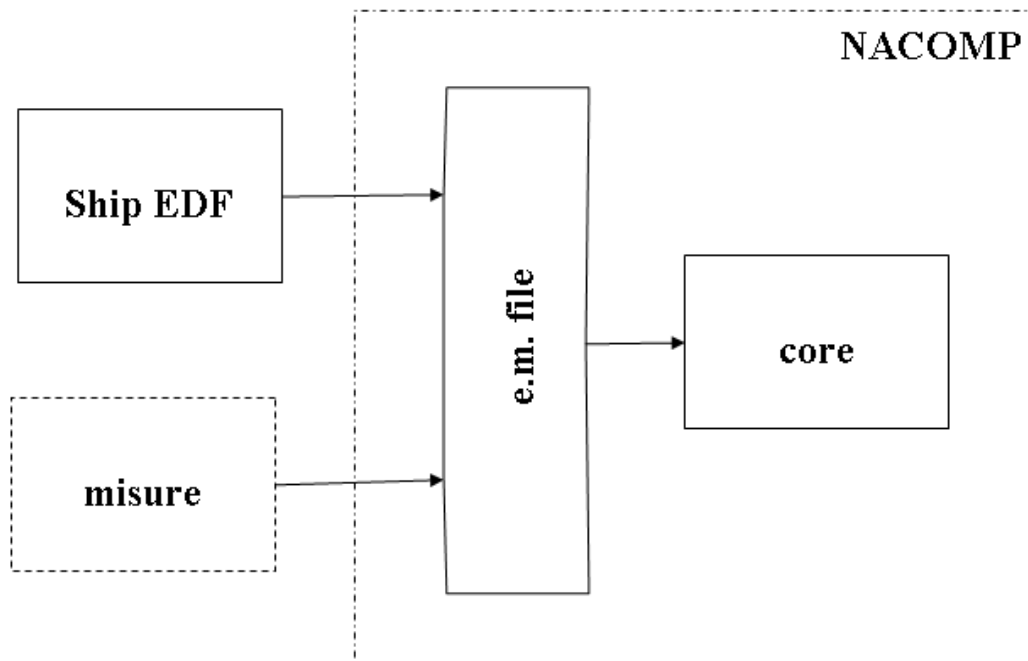


Fig. 6 – Interfacce Ship EDF / NACOMP

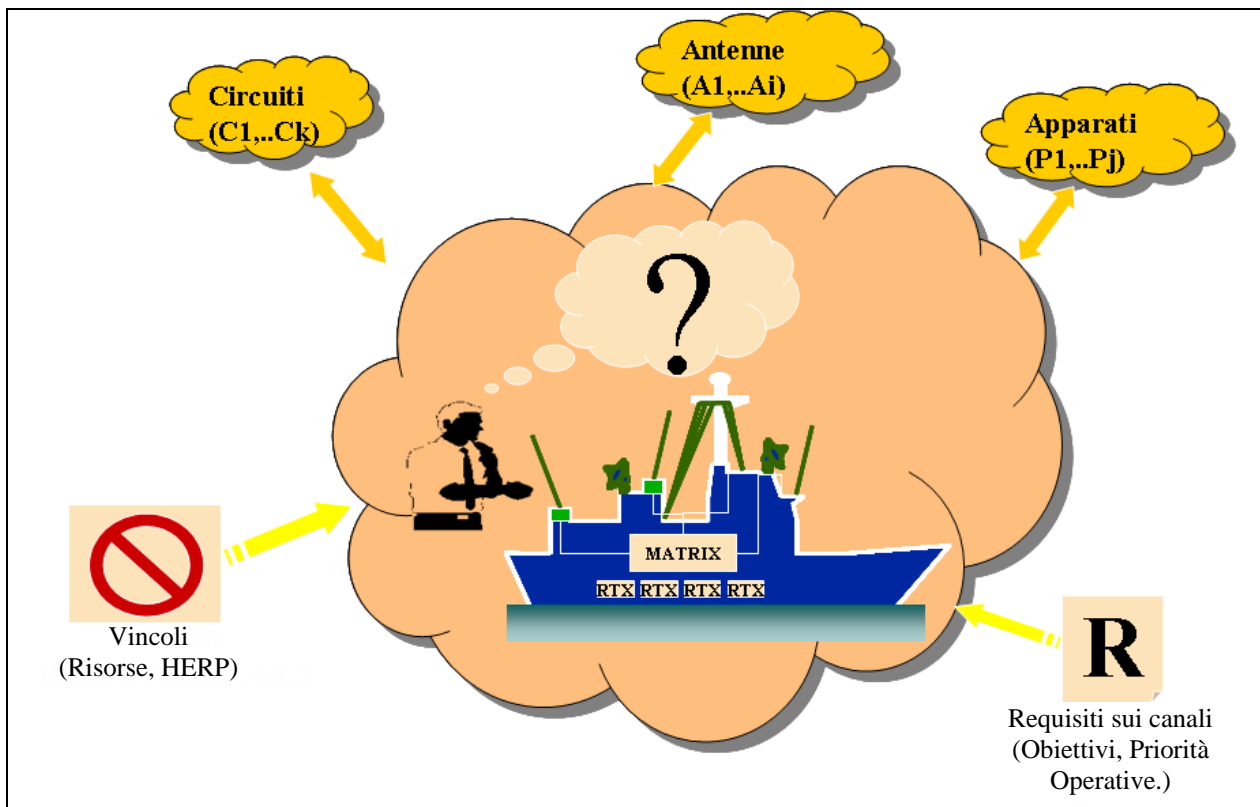


Fig. 7 – Difficoltà dell'operatore nella adozione di una buona configurazione TLC

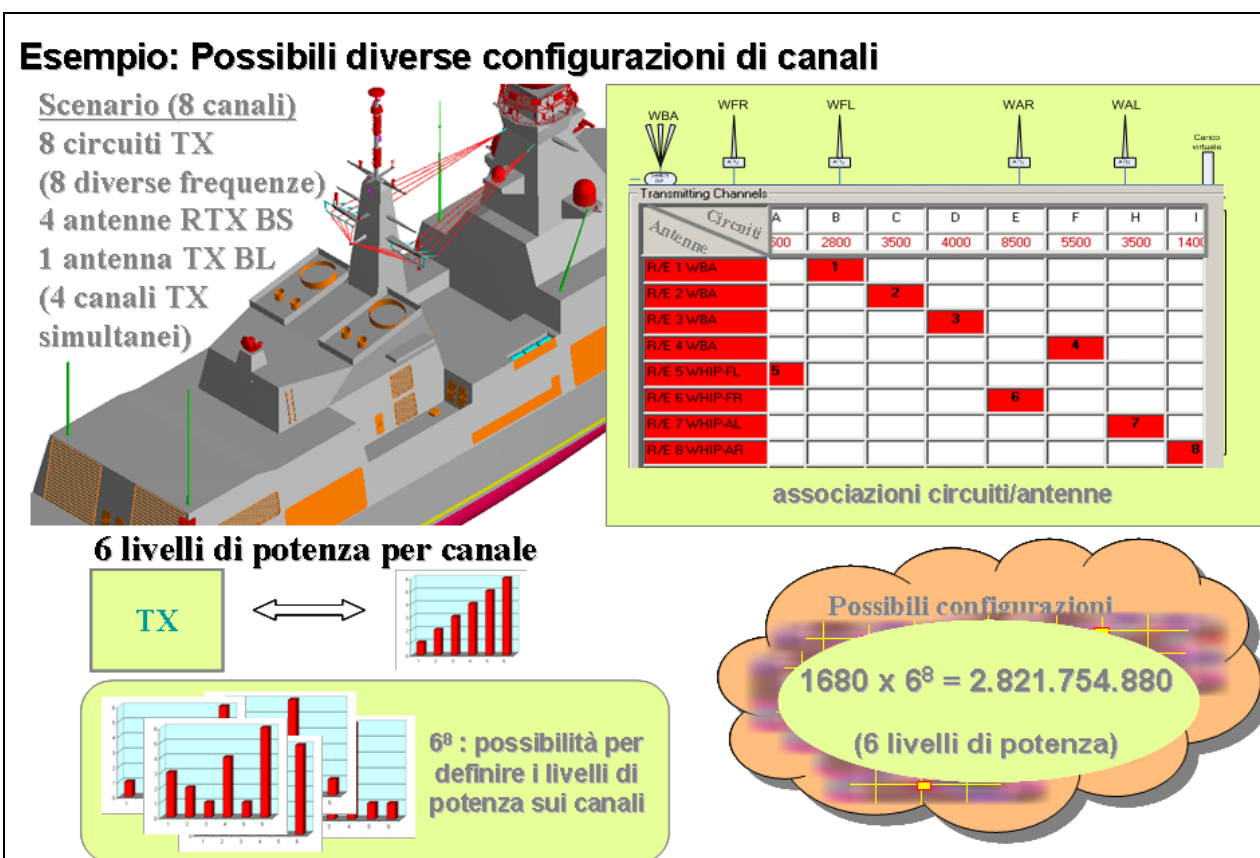


Fig. 8 - Esempio di possibili diverse configurazioni di canali

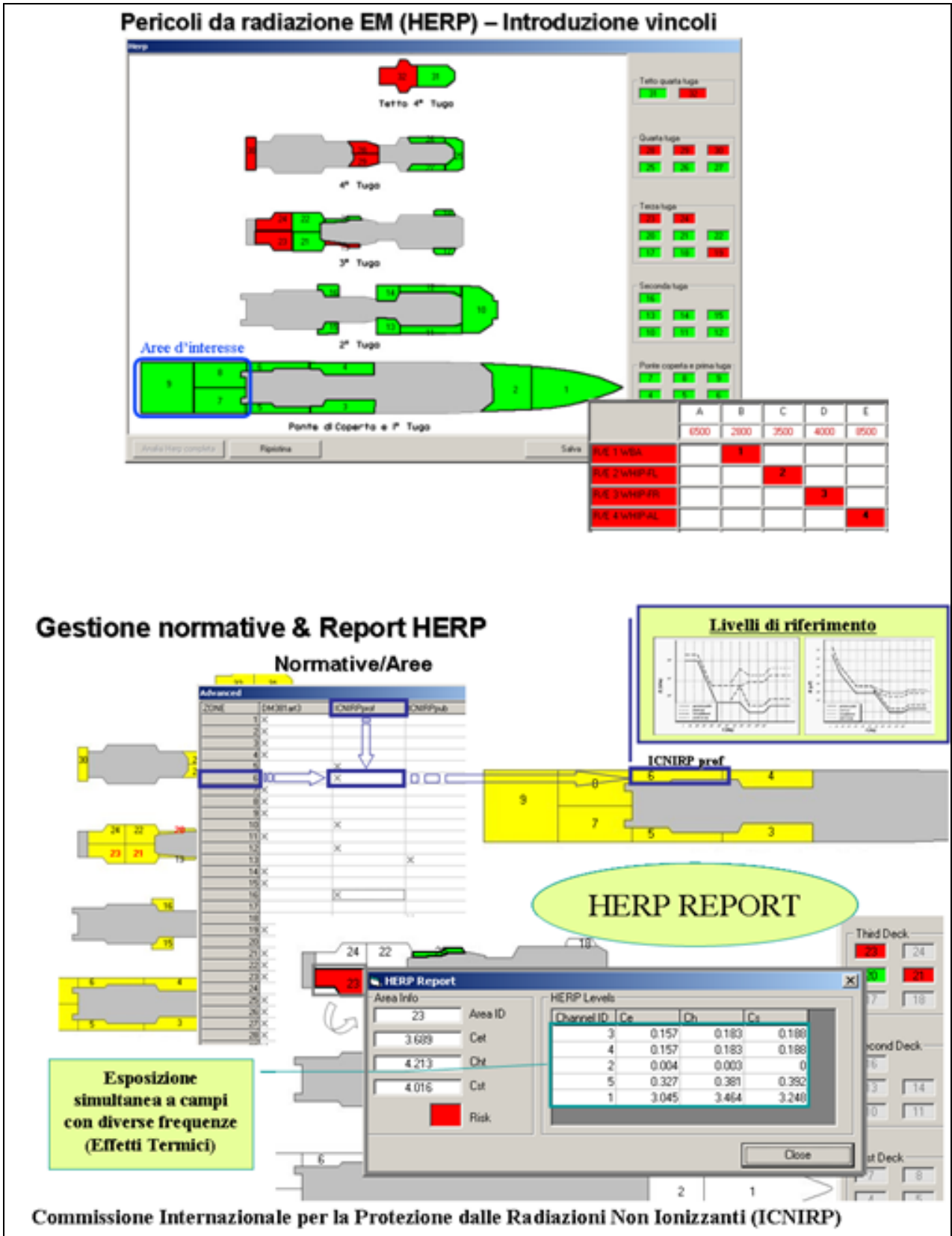


Fig. 9 – NACOMP. Esempio di interfacce utente