

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRIESTE

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA NAVALE



VITTORIO BUCCI

LABORATORIO DI SOFTWARE NAVALI

DISPENSA DEL CORSO

TRIESTE, 1 MARZO 2024



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE



Dipartimento di
Ingegneria
e Architettura

Sezione di Ingegneria Navale

A naval architect asked to design a ship may receive his instructions in a form ranging from such simple requirements to a fully detailed specification of precisely planned requirements. He is usually required to prepare a design for a vessel that must carry a certain weight of cargo (or number of passengers) at a specified speed with particular reference to trade requirements.

The Naval Architect - Enciclopedia Britannica



Premessa

Il progresso delle tecnologie IT ha permesso di impiegare strumenti informatici sempre più evoluti a supporto delle attività di ingegneria. Tradizionalmente tali software vengono categorizzati in CASM (Computer Aided Synthesis Modelling), CAD (Computer Aided Design), CAE (Computer Aided Engineering), CAM (Computer Aided Manufacturing), PMP (Product Model Programs), CIM (Computer Integrated Manufacturing) e CSI (Computer System Integrator). In particolare, CAD, CAE e CAM sono fondamentali per le quotidiane attività di ingegneria navale e possono giustamente essere considerati requisiti essenziali del bagaglio culturale e tecnico di un ingegnere navale. Parallelamente all'impiego di questi software di base in realtà industriali di livello si sta consolidando anche l'uso di PMP e CIM, mentre in quelle di eccellenza si stanno avviando processi di aggiornamento degli strumenti informatici applicati all'ingegneria navale verso l'impiego dei CSI. Nel corso di "Laboratorio di software navali", allo scopo di fornire un'adeguata conoscenza di base che permetta un rapido ed efficace inserimento degli aspiranti ingegneri navali nel mondo del lavoro, verranno presentati un CAE (RINA Leonardo Hull 2D), un PMP (BENTLEY Maxsurf) ed un CAM (OpenPlant) di comune impiego professionale. La valutazione dei risultati dell'apprendimento avverrà attraverso lo sviluppo di un'esercitazione che prevedrà l'impiego di tutti e tre gli strumenti. In conclusione del corso verranno forniti anche cenni sugli strumenti informatici avanzati.



Sommario

1. INTRODUZIONE	9
1.1 La progettazione navale	9
1.2 Cenni sulle metodologie di progettazione	18
1.3 Strumenti informatici per l'ingegneria navale.....	21
2. CAE – LEONARDO HULL 2D.....	29
2.1 Richiami di Costruzioni Navali	29
2.2 I software di ausilio alla progettazione strutturale	36
2.3 Il programma Leonardo Hull 2D del RINA	40
2.3.1 La gestione del programma.....	40
2.3.2 I manuali d'uso	41
2.3.3 La subroutine "Basic Ship Data"	41
2.3.4 La subroutine "Section"	51
2.3.5 La subroutine "Rule"	73
ESEMPIO DI APPLICAZIONE DI UN CAE	93



1. INTRODUZIONE

1.1 La progettazione navale

Lo Shipping è un'attività potenzialmente molto redditizia, ma estremamente rischiosa. Quindi quando un armatore deve decidere se intraprendere o meno un'impresa, ha sempre l'obiettivo di massimizzare il profitto minimizzando le spese. Inoltre, gli armatori sono sempre più portati ad operare con forte esposizione finanziaria verso le banche, mantenendo il proprio capitale come riserva liquida strategica. Esistono diversi percorsi per ottenere capacità di trasporto marittimo nuove, ampliate, potenziate o sostitutive, tra cui:

- Costruzione di nuove navi;
- Acquisto di navi di seconda mano;
- Leasing o noleggio (bareboat, tempo o viaggio);
- Conversione navale (jumboizing, re-engineing);
- Contratto di trasporto merci;
- Tonnellaggio di ship-sharing o pooling.

Per consentire all'armatore di prendere con rapidità e sicurezza la sua decisione, è necessario che un team di professionisti con competenze molto diverse lavori insieme. Sulla base delle idee di Total Quality Leadership/Management (TQL/M) come responsabilizzazione dei dipendenti e creazione di strette relazioni con i propri clienti e fornitori, l'uso dei team come forma di amministrazione del progetto sta guadagnando popolarità. Il lavoro di squadra, o partnership, tenta di sostituire i punti di vista conflittuali e le comunicazioni spesso ostili tipiche dei progetti multi-organizzativi con relazioni aperte caratterizzate dalla fiducia e dal desiderio di portare avanti il progetto verso l'obiettivo concordato (Harback, 1994).

L'acquisizione di una nuova nave, dal punto di vista dell'armatore, è una spesa in conto capitale importante. Dovrebbe seguire un processo in quattro fasi, vale a dire:

1. Pianificazione;
2. Progettazione;
3. Attività commerciali;
4. Attività produttive.

Tuttavia, ci sono altre procedure, che potrebbero essere preferibili, in circostanze appropriate. Uno è quello di eliminare la progettazione e parte della fase commerciale, acquistando una nave standard da un cantiere navale. Ovviamente, ci sono alcuni svantaggi perché la nave potrebbe non soddisfare esattamente tutte le esigenze dell'armatore (velocità, capacità, limitazioni nella scelta dei macchinari e degli allestimenti...). I principali vantaggi, dovuti alla produzione in serie, possono includere un prezzo inferiore e una possibile consegna più rapida.

Durante l'intero processo di acquisizione della nave, l'uso dell'engineering economics è essenziale. Durante la fase di pianificazione, l'economia viene utilizzata per sviluppare e valutare alternative strategiche. L'engineering economics viene utilizzata anche nello sviluppo della tecnologia, del finanziamento e dei piani aziendali. Durante le fasi di progettazione e soprattutto nella fase iniziale di progettazione, l'engineering economics viene utilizzata sia per selezionare le alternative sia per ottimizzare quella preferita. Durante la fase commerciale, l'engineering economics è importante per valutare le varie alternative di finanziamento e le proposte di costruzione navale.

Il processo di progettazione navale è un percorso abbastanza lungo e articolato che inizia con i risultati ottenuti dall'analisi progettuale e si conclude con la consegna del nuovo prodotto. Devono essere elaborati disegni e/o modelli computerizzati 3D, specifiche e tutte le informazioni necessarie alla produzione. La fase di progettazione costituisce una transizione dai requisiti della fase di pianificazione allo sviluppo di una forma di configurazione, dimensioni, layout e altre caratteristiche. È il punto in cui lo sforzo centrale si sposta dalla scienza gestionale al design, in particolare all'architettura navale e all'ingegneria navale. Lo sforzo di progettazione potrebbe comportare la modifica, l'estensione o la costruzione in altro modo di progetti precedenti o la sintesi di altri progetti. Quindi, un'altra attività di progettazione necessaria comporta la ricerca sia sul lavoro specializzato nel campo, sia sugli sviluppi attuali o all'avanguardia nel campo. Il team di progettazione dovrebbe essere consapevole dello stato della ricerca e dello sviluppo, in tutto il mondo, ed essere attento alle potenziali scoperte nelle molte discipline nel campo marittimo. "La ricerca è una parte necessaria e vitale della progettazione navale, così come lo sviluppo" afferma Pugh. Nelle attività di ricerca, gli ingegneri cercano nuovi principi, processi e, ovviamente, tecnologie e componenti. Il team di progettazione si trova solitamente a dover risolvere problemi soggetti a requisiti contrastanti, che possono essere fisici (peso minimo), economici (costo minimo),

sociali (massima sicurezza) e ambientali (impatto minimo). Deve risolvere questi conflitti e ricercare soluzioni ottimali rispetto agli obiettivi dell'armatore, individuati in fase progettuale.

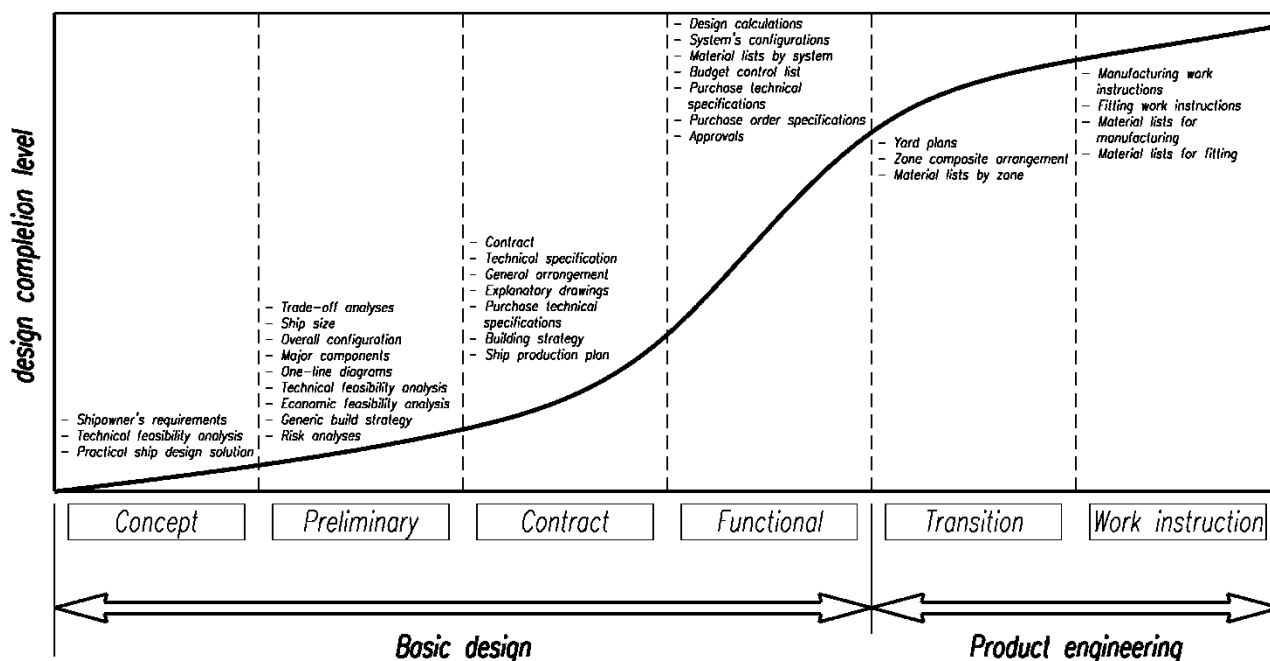


Figura 1 - Fasi della progettazione navale mercantile

Il processo di progettazione delle navi mercantili procede attraverso fasi distinte e sempre più definitive separate da intervalli in cui vengono emesse revisioni e vengono sviluppati risultati finali come riferimenti per la fase successiva:

- Progettazione concettuale (Concept Design);
- Progetto preliminare (Preliminary Design);
- Progettazione contrattuale (Contract Design);
- Progettazione funzionale (Functional Design);
- Progettazione esecutiva (Transition Design);
- Istruzioni di montaggio (Work Instruction).

Va notato che le ultime tre fasi di progettazione vengono solitamente eseguite dal costruttore navale dopo la firma del contratto di costruzione navale. Un modo per raccogliere le varie fasi del processo di progettazione navale è quello di distinguere tra Basic Design (fasi di Concept, Preliminary, Contract e Functional design) e Product Engineering (Transition design e Work instruction). Nel Basic Design la nave è trattata nella sua interezza e progettata sistema per sistema, mentre nel Product Engineering i deliverable sviluppati nella fase precedente sono

dettagliati in una forma adatta alle tecniche di produzione che devono essere adottate dal costruttore navale (Bosich, 2017 ITEC).

Il **concept design** è la fase che segue la raccolta dei dati e lo sviluppo della dichiarazione di intenti. Implica la trasformazione di un insieme qualitativo di requisiti in una prima configurazione progettuale, con le caratteristiche primarie definite. È il punto di partenza del progetto per sviluppare la forma dello scafo e identificare le principali dimensioni e macchinari. Lo sforzo di concept design di solito si traduce in uno schizzo o disegno, parzialmente o completamente quotato, e può anche includere una descrizione scritta. Normalmente includerà più alternative di progettazione (al massimo 5). Il concetto dovrebbe anche fornire informazioni per consentire una stima ragionevolmente accurata dei costi operativi e di acquisizione basata su diverse informazioni come il numero dell'equipaggio, il consumo di carburante e olio lubrificante, la manutenzione, ecc. Questa fase di progettazione richiede un piccolo numero di architetti e ingegneri navali, che dovrebbero essere altamente innovativi e specializzati. L'intero processo è molto breve, deve concludersi in alcune settimane/un paio di mesi (il doppio per le navi militari).

La **progettazione preliminare** è la seconda fase di progettazione. È l'attività di progettazione che fornisce dettagli molto maggiori rispetto alla fase di ideazione. Il progetto preliminare consente una valutazione accurata delle prestazioni tecniche della nave. Comprende lo scafo preliminare, la progettazione meccanica ed elettrica, l'integrazione del sistema di servizio e lo sviluppo continuo della documentazione del programma. Il livello di dettaglio sarà sufficiente per consentire una stima sufficientemente accurata dei costi di costruzione e di esercizio. La stima dei costi si basa sui parametri definiti nel concept design. I parametri primari sono il peso e le dimensioni, che vengono utilizzati come input per alcuni modelli di stima dei costi computerizzati. Devono essere identificate tutte le caratteristiche speciali della nave che influiscono in modo significativo sul costo di costruzione (ad esempio attrezzature per la movimentazione del carico, dispositivi di sollevamento, armi, sistemi speciali, ecc.). La progettazione preliminare è molto più laboriosa degli studi concettuali e un numero considerevole di compiti individuali viene appaltato. Vengono inoltre eseguite una valutazione semplificata del ciclo di vita e una strategia di costruzione. L'intera fase dura dai tre ai sei mesi (doppio per le navi militari).

Il **Contract Design** è la terza fase di progettazione, in cui viene aumentata la quantità di dettagli e migliora l'accuratezza del progetto. Ciò ha permesso al team di progettazione di valutare le prestazioni tecniche e l'economia della nave con maggiore affidabilità e minor rischio. Il Contract Design si traduce in un pacchetto di disegni e rapporti tecnici che descrivono accuratamente la nave da costruire assieme a specifiche tecniche con un livello di dettaglio sufficiente per consentire al costruttore navale di sviluppare un'offerta. Il livello di dettaglio nelle specifiche e nei disegni dipende da una serie di fattori, tra cui le dimensioni e la complessità della nave, la presenza di nuove caratteristiche, i possibili rischi nel trattare con alcuni cantieri. Le specifiche dovrebbero essere appena sufficienti per consentire a entrambe le parti di comprendere appieno i requisiti dell'altra. Le specifiche sono anche intese come documento di accompagnamento ai piani contrattuali e al contratto stesso. In caso di contraddizioni tra le parti, la gerarchia generalmente accettata prevede che prevalgano le clausole contrattuali, seguite dalle specifiche e infine dai disegni. È prassi normale per l'armatore specificare macchinari o attrezzature per marca. Poiché la maggior parte dei contratti attribuisce la piena responsabilità delle prestazioni della nave al costruttore navale, è essenziale che il team di progettazione esegua i calcoli in modo molto accurato per la propria protezione, poiché se le prestazioni non vengono soddisfatte spesso diventa la base per reclami. Il Contract Design è la fase in cui vengono congelati i preventivi di peso, dimensioni e costi di acquisizione. Le decisioni prese fino a questo punto hanno un impatto duraturo sul costo di acquisizione. Nella progettazione in commessa la dimensione del team di progettazione è raddoppiata e si prevede uno sforzo di circa quattro-sei mesi (un anno per le navi militari).

La **progettazione funzionale** è una fase particolarmente impegnativa, dove ogni sistema della nave è completamente definito e tutti i suoi componenti sono selezionati e dimensionati, rispettando anche i requisiti imposti dall'armatore e dagli enti regolatori. La fase di progettazione funzionale, essendo orientata al sistema, può essere vista come la fase finale della fase di progettazione di base. In alternativa, può essere visto anche come la prima fase della fase di ingegneria di produzione, perché riguarda attività propedeutiche al dettaglio dei sistemi di bordo. La progettazione funzionale inizia presso il cantiere vincitore non appena viene assegnato un contratto. Le fasi iniziali della progettazione funzionale comprendono l'approvvigionamento di apparecchiature, la progettazione e l'integrazione di sistemi e sottosistemi, la pianificazione della produzione e l'ottimizzazione/affidabilità della

progettazione strutturale. È durante questa fase che vengono sviluppate le strategie costruttive all'interno del cantiere. La sua durata è di almeno sei mesi (un anno per le navi militari).

La **Progettazione Esecutiva** è la fase in cui le informazioni orientate al sistema raccolte nelle fasi precedenti sono organizzate in informazioni orientate alla zona. Incorpora il design delle zone per consentire l'applicazione della group-technology durante la costruzione. La nave è suddivisa in un certo numero di zone secondo la strategia di costruzione già stabilita e vengono generati piani di cantiere per organizzare in modo efficiente il lavoro di produzione. Per ogni zona vengono elaborate due serie di piani esecutivi: uno riguardante il dettaglio delle strutture (PLA) ed un'altro riguardante il posizionamento di tutti i componenti degli impianti (anche piccoli) da inserire nella zona considerata (piani di coordinamento). L'accorpamento del PLA con i piani di coordinamento degli impianti costituisce la disposizione composita delle zone. Attraverso i piani di cantiere è possibile elaborare un elenco dei materiali da utilizzare nella zona nonché valutare peso e baricentro della zona. L'obiettivo principale dei piani di disposizione composita di zona è quello di rilevare se si verificano interferenze (tra i vari sistemi o sistemi e strutture). Parte del progetto esecutivo è lo sviluppo della documentazione di verifica della soddisfazione dei requisiti contrattuali che viene presentata al cliente per la revisione e/o l'approvazione. La moderna costruzione richiede che un cantiere navale abbia un intero reparto di ingegneri e progettisti dedicato a queste attività. La durata di questa fase dipende realmente dalla capacità degli strumenti CAD/CAM del costruttore navale e può essere di sei mesi o più (abbastanza lo stesso per le navi militari).

Lo sviluppo delle Istruzioni di Montaggio è la fase più pertinente rivolta alla produzione. Vengono infatti fornite le istruzioni per realizzare le varie parti della nave (impianti e strutture) e come montarle tra loro, anche in accordo sia con la strategia costruttiva stabilita sia con le tecnologie adottate dal costruttore navale. Pertanto, devono essere preparati i disegni delle istruzioni di lavoro di fabbricazione e i disegni delle istruzioni di lavoro di montaggio. I componenti dei vari sistemi in una determinata zona sono ora raggruppati per tipologia (ad esempio, pezzi di tubo, pezzi di condotto di ventilazione, supporti, ecc.) e vengono fornite istruzioni di lavoro sufficientemente dettagliate pezzo per pezzo (indipendentemente da dove si trovano devono essere fabbricati). La fase successiva prevede la redazione di istruzioni di montaggio che consentano di assemblare i blocchi con i diversi sotto assiemi precedentemente realizzati. Per facilitare il lavoro di produzione o di montaggio,

vengono preparati elenchi di materiali coerenti (ovvero elenchi di materiali per la produzione e elenchi di materiali per il montaggio). Il tempo totale per lo sviluppo dell'istruzione al lavoro è di circa sei-nove mesi (due anni per le navi militari).

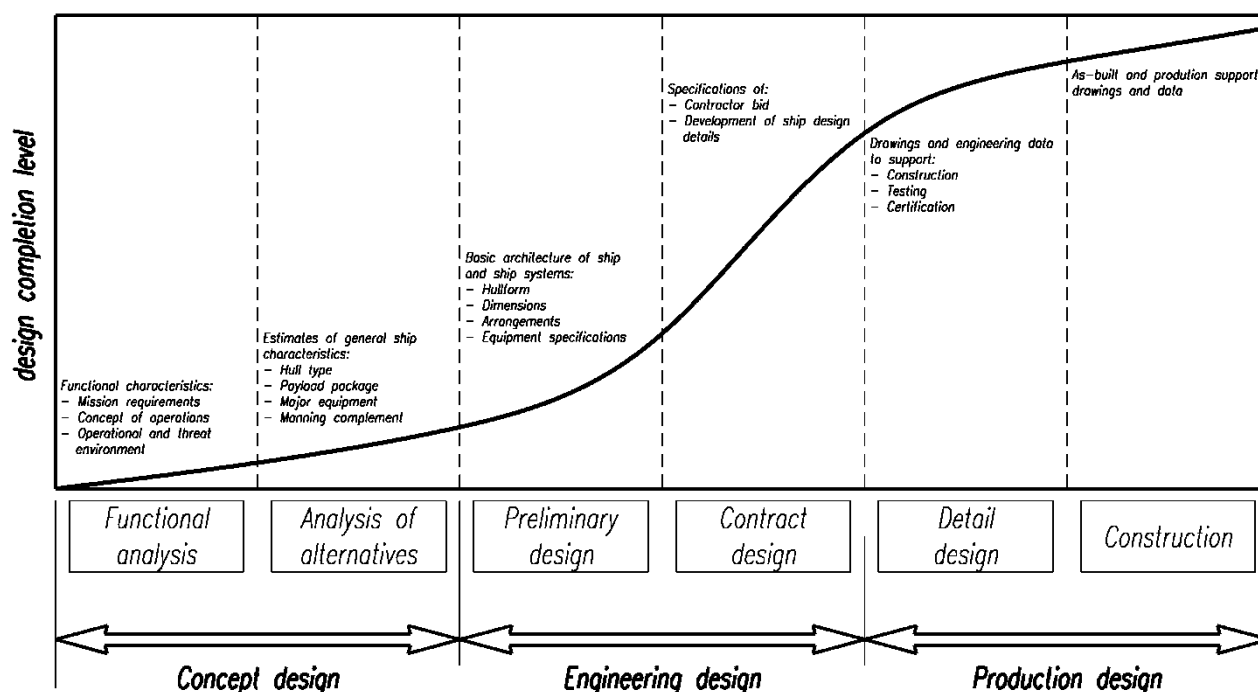


Figura 2 - Fasi della progettazione navale militare

Vengono seguiti approcci diversi se il prodotto finale è una nave mercantile o militare (Chalfant, 2015). In particolare nel settore militare, il processo di acquisizione inizia quando viene individuata una lacuna nella capacità operativa dell'intera flotta. Può essere causato da nuovi sistemi d'arma che non possono essere installati con un semplice refitting delle unità esistenti, nuovo ruolo della flotta navale come umanitario, classi di navi che stanno arrivando alla fine del loro ciclo di vita. Le tappe che si seguono sono praticamente le stesse di una nave mercantile, ma convenzionalmente vengono raggruppate in un altro modo:

- Concept Design, dove sono presenti l'Analisi Funzionale e l'Analisi delle Alternative;
- Engineering Design, composto da Preliminary Design e Contract Design.
- Production Design, consistente nella progettazione di dettaglio e nella costruzione.

Solitamente le prime fasi vengono eseguite dagli uffici tecnici della Marina Militare e le ultime da un contractor/cantiere navale; il passaggio da soggetti esterni alla Marina avviene durante la Progettazione Ingegneristica. Che si tratti di una nave mercantile o di una nave da guerra, man mano che si procede nelle varie fasi progettuali i dettagli aumentano, ma la scelta a

disposizione diminuisce. Segue una descrizione più dettagliata del contenuto delle fasi di progettazione della nave militare:

Il **Concept Design** prende le mosse dall'identificazione della carenza di capacità operativa delle navi in dotazione della flotta ed esplora la capacità di diversi nuovi concept di soddisfare l'esigenza espressa. Vengono intrapresi studi concettuali per determinare i requisiti di missione di una nave specifica, tenendo conto delle prestazioni della nave sia da sola che come parte di un gruppo da battaglia. Questa fase comprende lo sviluppo del concept of operations (concetto di operazioni – CONOPS) che descrive il modo in cui viene utilizzata la nave e l'ambiente operativo, compreso quello pericoloso, in cui opererà. Qui vengono delineati aspetti come velocità, autonomia e concetti di sopravvivenza. I requisiti di missione, CONOPS e l'ambiente operativo vengono utilizzati per produrre misure di efficacia per la valutazione futura delle alternative di progettazione della nave.

La fase di analisi delle alternative (Analysis of Alternatives – AoA) indaga i possibili concept di nave che soddisfano i requisiti e le capacità della missione di alto livello, producendo diversi progetti fattibili di nave insieme ad alcune indicazioni di costi, rischi e prestazioni. In questa fase vengono sviluppate le caratteristiche generali della nave, quali dimensioni principali, tipo di scafo, payload, macchinari principali e composizione dell'equipaggio. I margini di progettazione sono inclusi con l'intento che le future modifiche ai sistemi e alle apparecchiature che emergono durante il perfezionamento della progettazione non causino gravi disturbi nelle caratteristiche generali della nave definite durante questa fase.

L' **Engineering Design** comprende la progettazione preliminare e la progettazione contrattuale. Nella progettazione preliminare vengono stabilite le architetture di base della nave e dei sistemi navali, comprese la forma dello scafo, le dimensioni, le stime di volume e peso, le disposizioni generali e le specifiche e l'ubicazione delle principali attrezzature. Il prodotto è un progetto equilibrato e fattibile ma non necessariamente la scelta finale o ottimale. Il **Contract Design** aggiunge dettagli sufficienti alla progettazione preliminare necessari per produrre le specifiche richieste affinché un appaltatore possa presentare un'offerta, costruire un progetto dettagliato e produrre una nave.

Il **Production Design** ovvero, progettazione e costruzione dettagliata, è il processo di produzione dei disegni e dei dati tecnici per il personale del cantiere navale per costruire la nave, testarla nel suo insieme e nei suoi sistemi al fine di certificarne il funzionamento. I dati



tecniche vengono utilizzati per dimostrare che la nave soddisfa tutte le specifiche. Anche se un progetto è completamente dettagliato prima dell'inizio della costruzione, durante la costruzione viene svolto un lavoro di ingegneria e progettazione in risposta ai problemi che si presentano perciò spesso vengono prodotti anche disegni as-built.

In conclusione, le fasi effettive del processo di progettazione della nave varieranno a seconda della complessità del tipo di nave da progettare (ad esempio, nave da carico rispetto a nave da guerra) o della portata del progetto (modifiche limitate rispetto a nave completamente nuova), e anche a fattori come le competenze e il numero del personale coinvolto, gli strumenti disponibili e le priorità del cliente o della missione.

1.2 Cenni sulle metodologie di progettazione

La progettazione navale si è tradizionalmente basata su un approccio sequenziale e iterativo. Molti ricercatori hanno tentato di risolvere il problema della progettazione navale utilizzando diverse tecniche di ottimizzazione. Alcuni team di progettazione hanno rinunciato del tutto al concept design, procedendo direttamente al livello di progettazione preliminare. Di solito seguono la procedura a spirale della progettazione iterativa, anche se nella maggior parte dei casi non la seguono in modo formale. Innanzitutto, vengono determinate le dimensioni principali su base statistica, quindi viene sviluppato un piano di costruzione e viene integrato un piano di sistemazione generale. Idrostatiche e stabilità, stima della potenza, selezione della propulsione, tenuta al mare e manovrabilità vengono poi valutate mediante procedure analitiche basandosi sul piano di costruzione considerato.

Al contrario, un approccio basato sull'impiego di modelli matematici di progettazione fornisce immediatamente un quadro completo della nave. A seconda del livello di sofisticazione del modello di progettazione, è possibile eseguire da migliaia a centinaia di migliaia di valutazioni del modello di progettazione esplorando lo spazio di progettazione multidimensionale. Come riportato da Xuebin (2009) molti autori hanno affrontato il problema di superare l'approccio sequenziale nella progettazione della nave. La progettazione navale è stata modellata come un problema di ottimizzazione a singolo obiettivo (Murphy, 1965; Nowacki, 1970) o come un problema di programmazione degli obiettivi generalizzati (Sen, 1982); alcuni autori hanno utilizzato metodi tradizionali di ottimizzazione (Pal, 1981; Keane, 1991) mentre altri hanno concepito la progettazione navale come un problema tecnico di supporto alle decisioni (Bras, 1990). Mentre i primi studi volti alla creazione di tecniche di ottimizzazione automatizzata furono condotti da Pantazopoulos (1985), l'adozione di tecniche di ottimizzazione multicriterio nel processo di progettazione navale fu proposta da Ray e Sha (1994). Ad ogni modo, tutti i metodi decisionali multi-criterio possono essere inclusi nel quadro di metodologie di modelli di progettazione prescrittivi, ad es. programmazione lineare sequenziale, metodo dei criteri ponderati, programmazione degli obiettivi, superamento fuzzy, ecc. Tutte queste tecniche hanno consentito al progettista di generare e raggiungere un "progetto ideale" o di valutare l'indice di merito di progetti alternativi o di migliorare alcune caratteristiche di una nave esistente. Gli autori si sono precedentemente occupati di una serie di metodi multicriterio, compreso l'approccio MODM per la progettazione concettuale di diversi tipi di navi. Tuttavia, l'approccio MADM sembra essere il più promettente per un

approccio più razionale alla progettazione navale di diversi tipi di navi (Žanić, 2009; Trincas, 1994).

I concetti chiave di questa metodologia sono fattibilità, non dominanza e robustezza, in particolare nella fase di progettazione concettuale. Si possono identificare i seguenti elementi principali:

- Approccio multi-attributo, poiché le decisioni nella progettazione sono di natura multilivello e multidimensionale (Mistree, 1991);
- Elevata flessibilità, attraverso l'uso di moduli di architettura navale basati su un approccio analitico con fondamenti scientifici ma adattati all'uso pratico;
- Capacità del modello di progettazione di riflettere le modifiche apportate ai parametri di progettazione;
- Visualizzazione dei risultati mediante Prototipi Virtuali e Digital Twins sin dalle fasi iniziali della progettazione.

Una rappresentazione tipica di un processo MADM è mostrata schematicamente in Fig. 3.

Schematicamente secondo un approccio MADM, la progettazione della nave può essere strutturata in un modello prescrittivo che consiste in cinque attività fondamentali interconnesse:

- Dichiarazione del problema (Problem statement): definire una serie di valori per i parametri di progettazione; derivare una serie di criteri dai requisiti di progettazione da utilizzare nella valutazione dei valori degli attributi dei vari progetti concettuali generati; dividere il problema della generazione del progetto in una serie di sotto-problemi/sistemi;
- Analisi del progetto (Design Analysis): generazione automatica e valutazione tecnico-economica di un gran numero di alternative fattibili in grado di soddisfare i livelli di prestazione richiesti soggetti a vincoli netti e morbidi; valutare il costo dei progetti fattibili;
- Sintesi progettuale (Design Synthesis): filtraggio dei progetti non dominati tra quelli realizzabili;
- Selezione dei progetti (Design Selection): selezione delle "migliori alternative possibili" come decisione provvisoria seguendo diverse metriche e fuzzificazione degli attributi; scelta finale del "progetto preferito" dopo aver ripetuto l'analisi progettuale e la sintesi

attorno ai “migliori progetti possibili” attraverso la cooperazione con l’armatore (restringendo lo spazio di progettazione);

- Analisi di sensibilità (Sensitivity Analysis): previsione delle conseguenze per la probabile variazione di parametri economici incerti per arrivare ad una scelta finale per la “progettazione più robusta”.

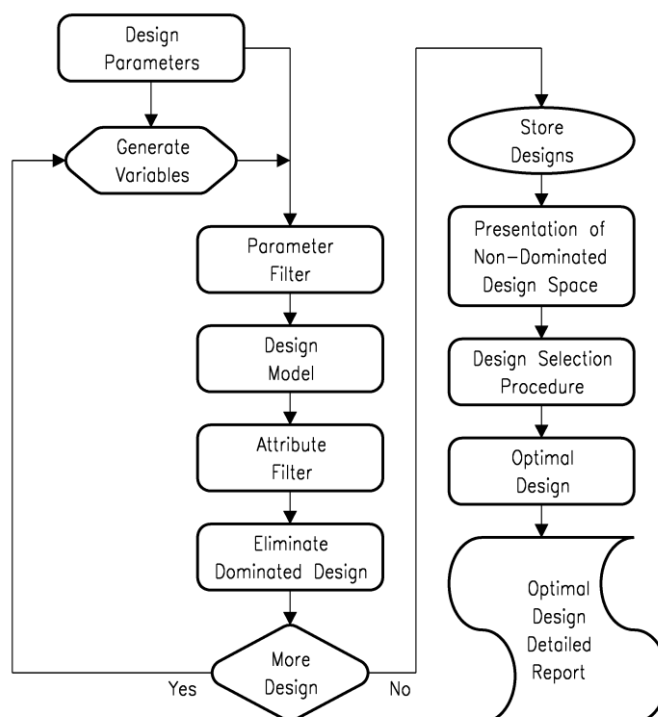


Figura 3 - Procedura progettuale multi-attributo

1.3 Strumenti informatici per l'ingegneria navale

Al giorno d'oggi l'utilizzo di strumenti informatici efficienti e coordinati nel processo di progettazione e costruzione navale rappresenta un aspetto importante per valutare la competitività commerciale di un costruttore navale. Attraverso tali strumenti, infatti, è possibile dare risposte più rapide alle richieste di preventivo degli armatori. Inoltre, la precisione dei risultati finali sarà aumentata.

Le modifiche alla progettazione possono essere eseguite in modo più flessibile, garantendo anche un elevato livello di coerenza. La possibilità di realizzare simulazioni al computer con un modello 3D del prodotto consente di potenziare le attività legate sia alla concurrent engineering che alla pianificazione della produzione. Vengono migliorate le analisi di controllo dei costi e sono consentiti acquisti di materiali e attrezzature razionali e tempestivi.

Ovviamente tutte queste attività necessitano della creazione di un database comune che deve essere continuamente aggiornato per poter ottenere informazioni sempre attendibili. Le funzioni assistite da computer coinvolte nel processo di progettazione e produzione della nave si occupano di modellazione di sintesi concettuale, disegno e modellazione (CAD), ingegneria (CAE), produzione (CAM), product model, computer integrated manufacturing (CIM) e computer systems integration.

Il modo tradizionale di eseguire il processo di progettazione e costruzione della nave si basa essenzialmente sulle seguenti classi di programmi:

- Il Computer-Aided Synthesis Modeling (CASM) può essere considerato il punto di partenza per definire una linea di base su cui sviluppare successivamente la progettazione preliminare della nave. Nello specifico, i dati di progetto vengono elaborati prendendo in considerazione una nave madre o un numero di navi simili. I risultati ottenuti possono riguardare questioni di progettazione, funzionamento o costi.
- La Progettazione Assistita dal Computer (CAD – Computer-Aided Design) rappresenta la naturale evoluzione conseguente all'introduzione del computer nell'elaborazione dei disegni. Sebbene la maggior parte dei disegni venga tracciata sul monitor di un computer, i risultati finali vengono comunque stampati su carta. La tendenza dei moderni sistemi CAD è orientata verso i modelli 3D, in modo che gli operatori possano avere una percezione più diretta di ciò che stanno creando.

- I programmi CAE (Computer-Aided Engineering) consentono i vari calcoli inerenti al processo di progettazione. Esistono programmi CAE dedicati a compiti specifici (ad esempio, idrostatiche e stabilità, esponente di carico, previsioni di velocità/potenza, dimensionamento strutturale, dimensionamento dei tubi, carico elettrico, tenuta al mare, rumore, ecc.), ma i moderni programmi CAE sono spesso costituiti da diversi moduli (ciascuno per un compito specifico) collegati tra loro. Alcuni programmi CAE sono specificatamente dedicati a dare risposte rapide alle richieste degli armatori. Essi traggono un apposito database da cui derivare relazioni parametriche per impostare un primo progetto e quindi effettuare una stima preliminare dei costi, utile per effettuare le successive analisi di trade-off.
- I programmi Computer-Aided Manufacturing (CAM) rappresentano gli strumenti che consentono il passaggio dalla progettazione alla costruzione della nave. In altri termini, tutti i risultati ottenuti nelle fasi riguardanti la progettazione funzionale vengono ora sviluppati e convertiti in attività di costruzione (ad esempio, saldatura, taglio, verniciatura, sollevamento, piegatura, formatura, progettazione e monitoraggio). Un aspetto importante che un sistema CAM dovrebbe avere è la capacità di elaborare i dati digitali necessari in modo coerente con le strutture e gli standard del cantiere navale.

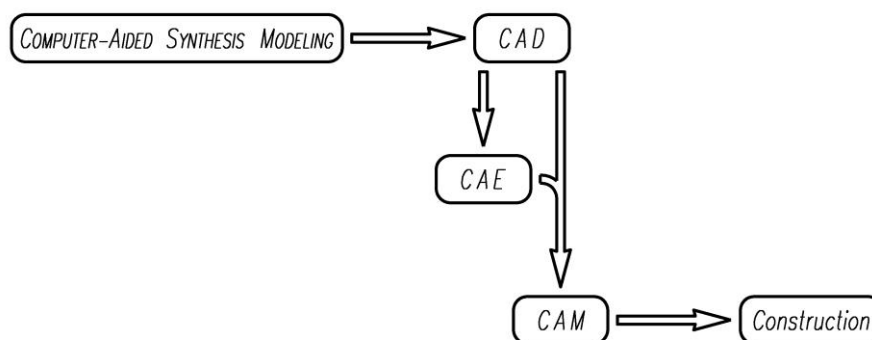


Figura 4 - Strumenti informatici impiegati nell'approccio tradizionale alla progettazione e costruzione navale

Un approccio alternativo ai tradizionali strumenti informatici è dato dai Product Model Programs, che includono funzionalità CAD, CAE e (in una certa misura) CAM. Il grande merito di tali programmi risiede nella loro tridimensionalità. Gli utenti, infatti, lavorano con un modello 3D fin dalle prime fasi della progettazione, contro l'approccio tradizionale dove il lavoro viene eseguito in 2D nelle fasi preliminari per poi essere esteso al 3D nelle fasi di dettaglio. I Product Model Programs consentono anche di svolgere simultaneamente compiti diversi all'interno di un ambiente multiutente. In questo modo è abbastanza semplice

verificare gli spazi interni (con particolare attenzione agli spazi manutentivi) o le interferenze esistenti tra strutture ed allestimenti. Inoltre, un aspetto importante da considerare è che i diversi compiti possono essere svolti solo con i moduli dedicati appartenenti allo stesso Product Model Programs. In altre parole, non vi è alcuna integrazione con i moduli di diversi Product Model Program (tale capacità, invece, è ottenuta mediante l'Integrazione dei Sistemi Informativi, qui di seguito trattata).

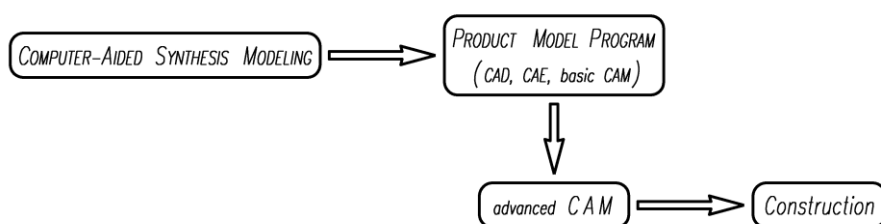


Figura 5 - Processo di progettazione basato sull'impiego di Product Model Programs

Un approccio ancora più avanzato rispetto ai Product Model Program è quello fornito dai programmi CIM (Computer-Integrated Manufacturing). Questi ultimi potrebbero essere visti come Product Model Program migliorati, soprattutto per le attività di produzione, e con la notevole capacità di coordinare programmi autonomi interfacciati con un database comune. Tuttavia, i programmi autonomi devono essere adattati per conformarsi alle strutture, alle tecnologie e agli standard del singolo cantiere navale. All'interno di un ambiente CIM, grazie al database comune, la gestione delle informazioni tra le divisioni tecniche e amministrative è assolutamente coerente. Ulteriore caratteristica importante è rappresentata dalla possibilità di gestire lo stato dei dati in accordo con i diversi livelli decisionali esistenti nell'organizzazione gerarchica del cantiere.

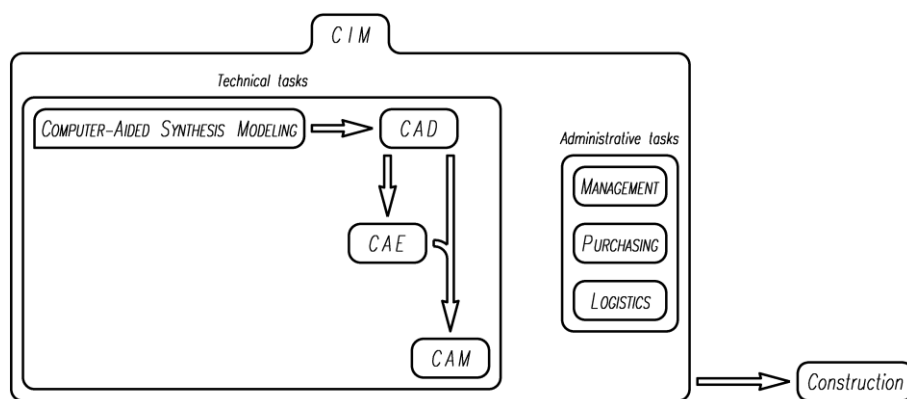


Figura 6 - Processo di progettazione basato sull'impiego di Computer-Integrated Manufacturing

Una sfida per il settore della cantieristica navale è rappresentata dall'integrazione di tutti i sistemi informatici di progettazione, costruzione e gestione (Computer Systems Integration – CSI). Il raggiungimento della piena integrazione tra diversi sistemi informatici consente il collegamento di diverse organizzazioni, tutte finalizzate allo stesso progetto. Mentre un programma CIM è calibrato solo in base alle capacità di uno specifico cantiere, l'integrazione dei sistemi informatici coinvolge molte figure (ad esempio, cantieri, armatori, fornitori, società di classificazione, organismi di regolamentazione e così via). Ovviamente, un database comune dovrebbe essere condiviso tra le varie figure, in modo da consentire loro di lavorare sempre con informazioni attendibili e coerenti. L'integrazione dei sistemi informatici è abilitata da strumenti specifici chiamati Computer System Integrator (CSI). Questi software sono in grado di interfacciarsi con i numerosi software comunemente utilizzati nella progettazione e costruzione navale (CAD, CAE, CAM). Consentono uno scambio fluido di informazioni tra tutti, rendendo più semplice per i progettisti eseguire la verifica convenzionale del progetto e le fasi di modifica. Inoltre, possono essere utilizzati come destinatario di tutti i dati di progettazione della nave, creando un database inclusivo accessibile a tutte le parti interessate, garantendo così la coerenza dei dati e l'accesso alle informazioni aggiornate.

I software CSI sono tutti basati su un'architettura modulare, consentendo così l'espansione verso nuove attività, incluso il calcolo automatico degli indici (ad esempio pesi e volumi), algoritmi di ottimizzazione della progettazione e così via. Un software CSI può fornire un miglioramento significativo sia alle fasi di progettazione che alla produzione. In particolare, con riferimento a quest'ultimo, potranno essere prodotti automaticamente deliverable compatibili con gli standard del cantiere, mentre in fase di Basic Design potranno essere effettuati rapidi proof-of-concept. In questo modo è possibile effettuare un confronto tra diverse soluzioni tecnologiche e valutare i relativi indici di prestazione, evidenziando, in breve tempo, pro e contro con sforzi ridotti. Il software CSI può essere utilizzato fin dalle prime fasi di progettazione per definire l'ubicazione degli impianti della nave in base ai diversi spazi disponibili a bordo, consentendo così una valutazione accurata dei relativi pesi e volumi coinvolti, nonché la loro ottimizzazione. Inoltre, la possibilità di integrare il software con nuovi moduli consente il calcolo di ulteriori funzioni obiettivo. Ciò consente di valutare l'impatto di un sistema sugli altri e sull'intera nave, valutando quindi le capacità complessive della nave per quanto riguarda ogni aspetto prestazionale (es. efficienza energetica della nave,

consumo di carburante, tenuta al mare, gestione termica, ecc.). Il software CSI elimina l'onere di convertire le informazioni da uno standard all'altro quando vengono utilizzati diversi strumenti di progettazione, risparmiando tempo ed eliminando il rischio di incoerenza dei dati. Attraverso tale capacità, consente di sfruttare la metodologia di progettazione navale integrata, in cui tutti i progettisti lavorano con lo stesso set di dati, allo stesso tempo, adattando dinamicamente il proprio lavoro in risposta alle azioni degli altri partner (Fig. 7).

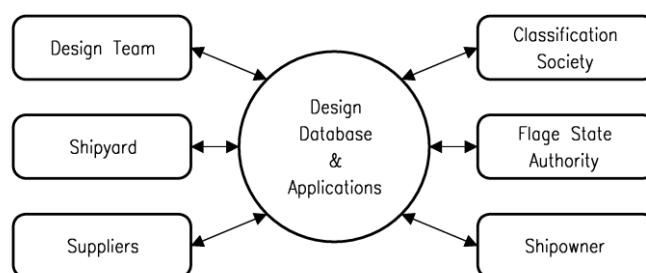


Figura 7 - Schema di funzionamento di un CSI basato su logica data-centrica

Comunemente, la gestione delle informazioni di CSI abilita un servizio collaborativo in grado di garantire che dati tecnici validi, coerenti e di alta qualità siano condivisi tra applicazioni e utenti quando e dove è necessario. A livello aziendale è però necessario impostare una strategia orizzontale più ampia che si estenda non solo ai settori dell'ingegneria, ma anche a quelli del business, della gestione dei materiali, della produzione e della gestione del ciclo di vita. Considerando la complessità del processo e il fatto che non esiste un unico strumento in grado di coprirne tutti gli aspetti, è opportuno trovare una soluzione aperta. Tale soluzione dovrebbe essere in grado sia di gestire la comunicazione tra i vari strumenti di creazione dei processi sia di seguire l'evoluzione della progettazione e dell'ingegneria a causa delle richieste di modifica provenienti da ciascun partecipante (progettisti, proprietari, costruttori, organismi di regolamentazione e classificazione). Il Product Lifecycle Management (PLM) è una soluzione aperta e scalabile che può fungere da piattaforma per le funzioni di integrazione e di repository dei dati, in cui le informazioni globali sul progetto possono essere create, gestite, riutilizzate e controllate durante tutto il ciclo di vita del prodotto (Fig. 8).

Il PLM fornisce un meccanismo che consente di utilizzare uno o più programmi (funzioni) della propria suite insieme a una serie e una varietà di strumenti di terze parti che possono essere integrati attraverso la piattaforma. La soluzione supporta la collaborazione globale tra clienti, appaltatori e fornitori e aiuta i processi aziendali che condividono informazioni comuni. Questi flussi di lavoro generali e collaborativi attraverso catene del valore interne ed

esterne forniscono informazioni di qualità, indipendentemente dall'applicazione di origine, formando un'unica fonte di accesso ai dati tecnici della nave o in generale dell'asset sviluppato. In tal modo viene assicurato un supporto affidabile alle revisioni normative, nonché alle decisioni rafforzate attraverso dati e indici interdisciplinari e incrociati.

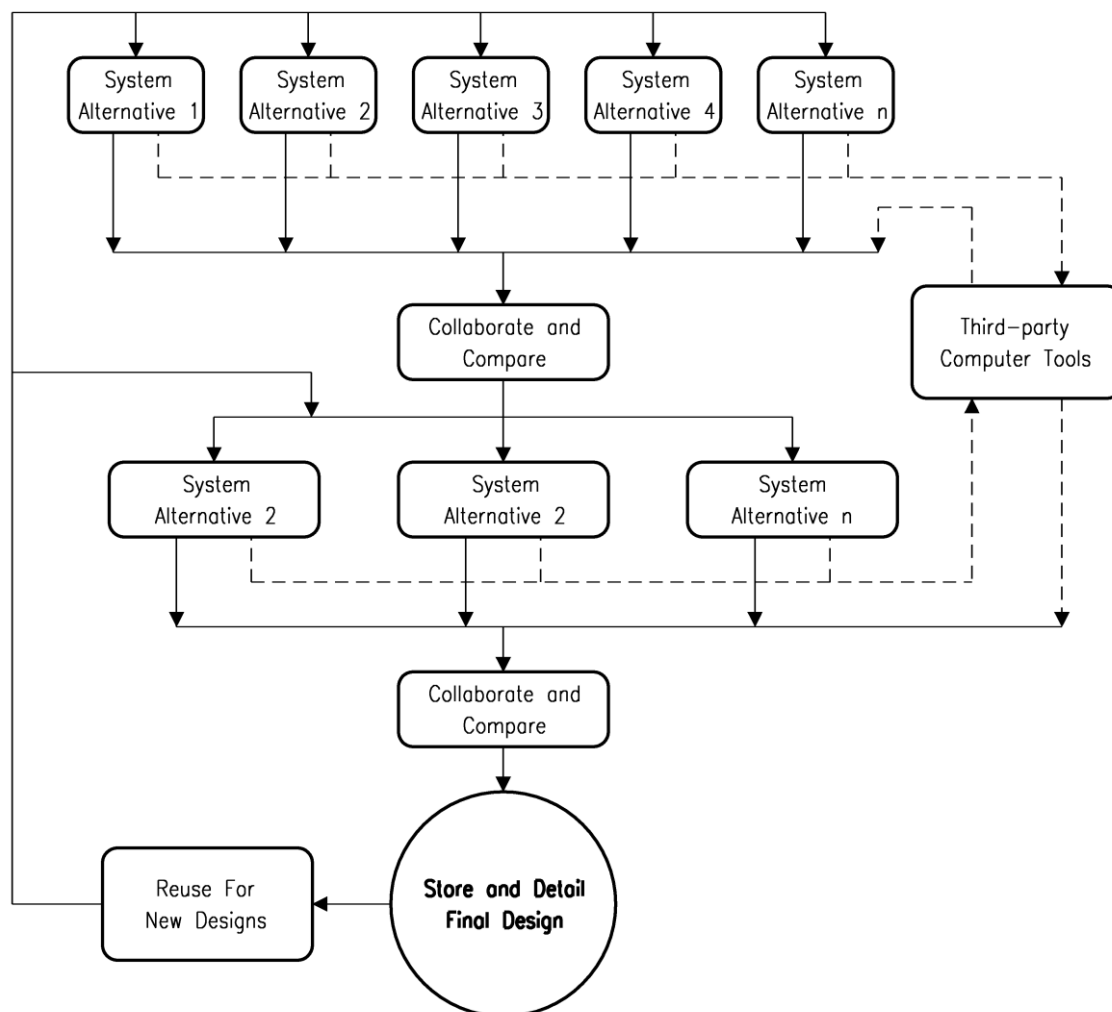


Figura 8 – Schema di funzionamento di un sistema data-centrico integrato

La totale integrazione dei dati ingegneristici in un unico database a singolo ingresso consente una rapida identificazione e risoluzione di potenziali problemi. sono così garantite informazioni tempestive e reporting di progetto con interfacce ininterrotte per applicazioni finanziarie, contabili e di pianificazione aziendali. Come sopra accennato il CSI è in grado di gestire in modo semplice e coerente tutte le modifiche progettuali, causate anche dall'interazione con software di terze parti. Modifiche alla forma dello scafo o ad altri sistemi attivano l'aggiornamento automatico delle strutture dello scafo interessate (lamiere e travi) e (dopo specifico consenso di utenti abilitati) dei componenti di allestimento relativi alle

strutture modificate. Le aperture strutturali per gli attraversamenti di tubi/condotti/funivia vengono tutte generate automaticamente in conformità con le regole riguardanti la tenuta stagna delle lamiere e la tipologia di compartimento/zona.

Il suddetto aggiornamento automatico, oltre a far risparmiare tempo, fornire precisione costante e migliorare la qualità della progettazione, ha un'influenza benefica sia sui processi produttivi che sui tempi. Inoltre, è possibile eseguire una progettazione iniziale più completa con tempi di consegna complessivi più brevi. Per eseguire tutti i calcoli ingegneristici necessari, il CSI rende disponibile il modello CAD 3D parametrico e le proprietà associate al sistema CAE senza dover aggiungere sforzi di progettazione o rimodellare. Un'interfaccia robusta ed efficiente gestisce le eccezioni e supera possibili problemi di incoerenza dei dati, poiché il modello parametrico CAD deve essere semplificato senza perdere la correttezza dal punto di vista dello strumento di analisi.

Per interfacciare le strutture di un CSI con i CAE viene comunemente utilizzato un approccio API (Application Programming Interface) combinato con uno schema XML. La capacità del CSI di trattare il modello della nave nel suo insieme in tutte le fasi della progettazione come un modello 3D parametrico ne consente l'utilizzo come base per la realizzazione di gemelli digitali molto utili per la validazione del progetto in tutte le fasi e per l'addestramento dell'equipaggio durante l'esercizio della nave. Per ogni software di terze parti deve essere sviluppata un'API specifica. Nello sviluppo dell'interfaccia un passo importante è la trasformazione dal modello a oggetti interno (come memorizzato nel database CSI) a un modello adatto per lo scambio di dati tra diverse applicazioni (cioè creare il "modello di scambio" da utilizzare da parte del integratore di soluzioni). Il modello di scambio non contiene il modello a oggetti interni completo, ma solo i dati di interesse per l'integrazione. In particolare, descrive la struttura e il formato dei dati da scambiare. Parallelamente, l'interfaccia necessita di un altro modello in cui descrivere come interpretare i dati trattati. Questo è il "modello di riferimento" che eredita il modello di scambio e aggiunge la semantica per consentire l'interpretazione dei dati, consentendo così un efficace scambio di "modelli" tra applicazioni che collaborano. Chiaramente in questo modo si eliminano modellazioni ridondanti e si riducono i possibili errori. I CSI, infatti, sono in grado di generare automaticamente fino al 90% dei dettagli strutturali partendo dal modello funzionale e oltre il 95% dei pezzi realizzati dal modello dettagliato. Questo obiettivo viene raggiunto

implementando una corposa libreria contenente i diversi componenti, le regole di progettazione e le relazioni tra elementi strutturali e di allestimento.

La maggiore qualità e integrità complessiva dei dati aiuta a conservare le conoscenze ingegneristiche e aziendali per applicazioni future. Gli elementi costitutivi vengono definiti nelle prime fasi della progettazione. L'attività di pianificazione dell'assemblaggio, oltre ai pesi e ai baricentri, consente di definire l'orientamento dell'assemblaggio, l'ingombro e la sequenza di montaggio, che sono prerequisiti per la generazione automatica delle istruzioni di costruzione per l'officina, nonché per tracciare l'assemblaggio dedicato disegni. È possibile eseguire una simulazione di costruzione in qualsiasi fase del progetto con i dati di pianificazione collegati alle informazioni di pianificazione (master e approvvigionamento) per verificare l'allineamento con la strategia di costruzione. I collegamenti con sistemi di pianificazione e programmazione esterni/di terze parti sono facilmente realizzabili. Un'integrazione così stretta rende estremamente semplici le modifiche e gli aggiornamenti dello scheduling di costruzione. Inoltre, la logistica per la distribuzione dei materiali è notevolmente facilitata. Filtri adeguati consentono il recupero di dati specifici dal database relazionale e la loro visualizzazione in modo user-friendly durante l'elaborazione della production engineering, senza scrivere query complesse. Tutti i risultati finali, come disegni e report, sono generati da una procedura simile: cioè estratti tramite query implicite e quindi risimbolizzati per soddisfare gli standard di settore o i requisiti di rappresentazioni personalizzate, in qualsiasi momento.

Oggi sul mercato sono disponibili diversi pacchetti software CSI: ad esempio AVEVA, Dassault Systemes, Foran v.80 e Intergraph Smart 3D sono rappresentativi dell'attuale stato della tecnica.

2. CAE – LEONARDO HULL 2D

2.1 Richiami di Costruzioni Navali

Qualunque unità navale per poter navigare deve possedere due certificati fondamentali:

1. il Certificato di Classe, che attesta che la costruzione dell'unità ed i successi collaudi sono avvenuti in conformità a specifici standard redatti da una Società di Classifica. Questo certificato ha validità quinquennale e per il suo rinnovo è necessaria un'ispezione completa della nave, sia per quanto riguarda lo scafo (corrosione) che gli impianti (funzionalità e manutenzione ordinaria e straordinaria);
2. il Certificato di sicurezza, viene rilasciato dai governi delle diverse nazioni di bandiera e certifica la soddisfazione dei requisiti di sicurezza dettati dagli specifici Regolamenti internazionali (SOLAS in primis), ha validità quinquennale e per il rinnovo è necessaria una visita a bordo che riguarderà tutte le dotazioni di sicurezza, attive e passive. Solitamente le Società di Classifica, di cui sopra, fungono da organismo tecnico dei governi durante queste visite.

Il compito quindi delle Società di Classifica, enti super partes senza alcuno scopo di lucro, è quello di:

- stilare dettagliati regolamenti che definiscono gli standard di prestazione, costruzione e collaudo di tutti gli apparati presenti a bordo della nave;
- approvare il progetto della nave sotto tutti gli aspetti;
- sorvegliare la costruzione;
- partecipare al collaudo di tutti gli impianti presenti a bordo;
- eseguire visite periodiche durante tutta la vita della nave, soprattutto per verificarne nel tempo la piena sicurezza ed efficienza, oltre che per permettere il rinnovo dei certificati;
- curare l'aggiornamento del Libro Registro che raccoglie tutti i dati principali delle navi in possesso di un Certificato di Classe di propria emissione.

Le 12 principali Società di Classifica sono riunite nell'IACS (International Association of Classification Society) con l'obiettivo di unificare il più possibile i requisiti tecnici necessari

per l'ottenimento della Classe e garantire standard comuni di sicurezza della nave e della navigazione.

I componenti dell'IACS sono:

1. ABS, American Bureau of Shipping (USA);
2. BV, Bureau Veritas (Francia)
3. CCS, China Classification Society (Cina);
4. CRS, Croatian Register of Shipping (Croazia);
5. DNV-GL, Det Noorske Veritas - Germanischer Lloyd (Norvegia, Germania);
6. IRC, Indian Register of Shipping (India);
7. KR, Korean Register (Corea del Sud);
8. LR, Lloyd's Register (Regno Unito);
9. NK, Nippon Kaiji Kyokai (Giappone);
10. PRC, Polish Register of Shipping (Polonia);
11. RINA, Registro Italiano Navale (Italia);
12. RS, Russian Maritime Register of Shipping (Russia).

Come noto il progetto di una nave segue un processo ben definito che ottimizza il risultato per successive approssimazioni. Il dimensionamento della struttura della nave ne è l'ennesima conferma in quanto possono essere identificate 12 fasi ben distinte che vanno eseguite una di seguito all'altra, con continuo riferimento alle prescrizioni dei Regolamenti di Classe:

1. Definizione dell'intervallo di ossatura ordinario e rinforzato (S_R);
2. Definizione della distanza e geometria di paramezzali, madieri, paratie stagne e semistagne e del piano di puntellatura (S);
3. Definizione del conseguente intervallo delle strutture primarie del fasciame e dei ponti (s);
4. Definizione dell'intervallo delle strutture secondarie (s);
5. Dimensionamento locale a norma dei Regolamenti di Classe delle lamiere e dei rinforzi, disegno della sezione maestra e del primo piano dei ferri;
6. Verifica della robustezza longitudinale;
7. Aggiornamento della sezione maestra e del piano dei ferri;
8. Verifiche FEM della robustezza longitudinale in acqua tranquilla e sull'onda;
9. Verifica della robustezza trasversale;

10. Ottimizzazione del dimensionamento di tutte le strutture della nave e disegno del piano dei ferri definitivo;
11. Verifiche dei dettagli strutturali (aperture a scafo ed appendici);
12. Dimensionamento dei basamenti dei macchinari principali.

Il dimensionamento locale consiste essenzialmente nella definizione dello spessore di tutte le lamiere e delle strutture di rinforzo secondo le prescrizioni del Regolamento di Classe. In questa fase anche se formalmente si trascurano tutti gli effetti connessi alla robustezza longitudinale, se ne tiene implicitamente conto attraverso opportuni coefficienti di sicurezza presenti nelle formule.

Il dimensionamento globale consiste nella verifica della robustezza longitudinale della nave in acqua tranquilla e sull'onda, ottimizzando il dimensionamento locale per correggere eventuali carenze evidenziate.

In genere una nave dovrà risultare ugualmente robusta da tutti i punti di vista: si è comunque soliti effettuare una suddivisione di comodo della robustezza in tre quote. Distinguiamo una robustezza longitudinale ed una robustezza trasversale perché nell'ambito della struttura di una nave possiamo individuare elementi a prevalente sviluppo longitudinale ed altri a sviluppo trasversale; la suddetta distribuzione è quindi legata alla presenza di tali elementi. Le due robustezze sono però tra loro necessariamente interdipendenti. C'è da dire che si parla anche di una robustezza locale, che ha un duplice aspetto: da un lato c'è la necessità di garantire che ogni punto della nave abbia un'adeguata resistenza, dall'altro alcuni elementi strutturali dovranno di per sé far fronte solo a problemi di robustezza locale (ad esempio i punti di appoggio di bitte e argani e anche se impropriamente, le paratie stagne).

Una nave può essere assimilata ad una trave, la quale se considerata da un punto di vista longitudinale, risulta soggetta al peso proprio ed all'azione fasciante del mare (forze che portano la nave ad inflettersi).

In generale, volendo considerare una nave come una trave inflessa, dovremo posizionare un certo numero di elementi strutturali nella parte bassa ed altri nella parte alta, anche se ciò può non essere più valido se la nave è molto corta.

Lo studio strutturale viene condotto inizialmente solo a livello locale, in tale ottica si esegue un primo dimensionamento si calcola quindi il modulo di resistenza relativo a questa prima realizzazione, per far ciò si costruisce la seguente tabella relativa in genere a metà sezione:

item	Descrizione	B [mm]	H [mm]	Area [mm ²]	y_g [mm]	$A \cdot y_g$ [mm ³]	$A \cdot y_g^2$ [mm ⁴]	$J_{proprio}$ [mm ⁴]
1								
2								
Totali				$\sum A$		$\sum (A \cdot y_g)$	$\sum (A \cdot y_g^2)$	$\sum J_{proprio}$

È bene notare che come riferimento per le distanze y può essere presa la linea di costruzione o di sottochiglia per non avere distanze negative.

Ogni singolo elemento strutturale viene riportato nell'elenco e numerato; gli elementi centrali, come il paramezzale centrale, viene considerato a metà. Una lamiera orizzontale molto sottile può essere trascurata dal punto di vista del contributo al momento. Le strutture della zona del ginocchio possono essere approssimate come nel seguente esempio:

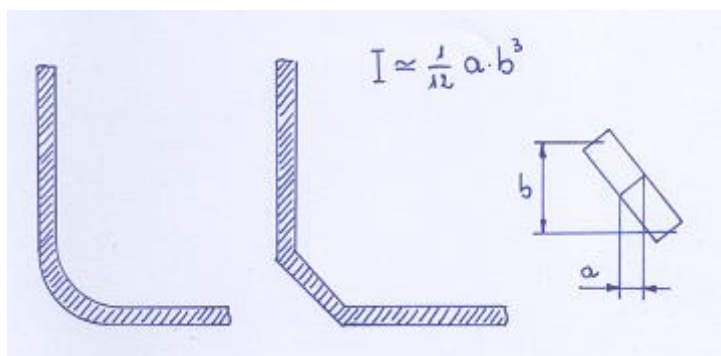


Figura 9 - Semplificazione del ginocchio al fine del calcolo delle caratteristiche geometriche della sezione maestra

Al termine del procedimento si eseguono le sommatorie delle diverse quantità. La prima grandezza da considerare è la posizione dell'asse neutro tramite la coordinata y_{AN} :

$$y_{AN} = \frac{\sum (A \cdot y)}{\sum A}$$

data la simmetria l'asse neutro passa per il baricentro.

Il momento d'inerzia rispetto alla linea di costruzione è dato da:

$$J_{L.C.} = \sum J_{proprio} + \sum (A \cdot y_g^2)$$

Il momento d'inerzia rispetto all'asse neutro è:

$$J_{AN} = J_{L.C.} - \left(\sum A \right) \cdot y_{AN}^2$$

A questo punto è possibile calcolare i due moduli di resistenza della sezione; uno rispetto al fondo, distante y_F dall'asse neutro:

$$w_F = \frac{J_{AN}}{y_F}$$

ed uno rispetto al ponte, distante $y_P = D - y_{AN}$:

$$w_P = \frac{J_{AN}}{D - y_{AN}}$$

dove D è l'altezza di costruzione

Questo è dello stesso ordine del modulo di resistenza del fondo ma sempre minore, poiché la struttura del fondo è più massiccia di quella del ponte. Si è trascurato un eventuale bolzone, per cui la sollecitazione ottenuta sarà minore di quella reale.

Questi sono gli elementi che devono essere verificati. In genere è molto probabile che questi due moduli, ottenuti sulla base di un primo dimensionamento di massima, risultino insufficienti; inoltre l'asse neutro risulta di solito spostato troppo in basso a causa del fatto che il fondo ha una struttura più massiccia.

Si dovranno perciò adottare degli interventi correttivi, in modo da ottenere un modulo atto a sopportare le sollecitazioni agenti sullo scafo, spostando contemporaneamente l'asse neutro in una posizione più alta, approssimativamente a $0.5 \cdot D$ per sfruttare il fatto che l'acciaio ha un comportamento simmetrico a trazione ed a compressione.

In sostanza occorrerà ispessire il fasciame ed aumentare il numero, o cambiare tipo, di rinforzi ordinari in alto: è comunque un'operazione che va condotta per tentativi. Una volta ricalcolato il tutto, si va a riverificare il modulo di resistenza.

Apparentemente sarebbe meglio avere l'asse neutro esattamente a $0.5 \cdot D$, ma in realtà è meglio un po' più in basso per tenere conto che sul fondo c'è anche una sollecitazione di tipo locale dovuta alla pressione idrostatica.

Determinate quindi le caratteristiche geometriche della sezione, si procede nella verifica delle sollecitazioni nel caso si faccia riferimento al solo momento flettente; la sollecitazione sul ponte sarà data da:

$$\sigma_P = \frac{M_{tot}}{w_P}$$

dove M_{tot} è il momento complessivo dato dalla somma del momento in acqua tranquilla e del momento d'onda. Analogamente sul fondo:

$$\sigma_F = \frac{M_{tot}}{W_F}$$

σ_p e σ_F andranno poi confrontate con la σ_{amm} determinata tenendo conto anche di possibili fenomeni di fatica, a partire dalle formule del Regolamento di Classe che tengono conto delle caratteristiche meccaniche del materiale con cui è stato realizzato lo scafo.

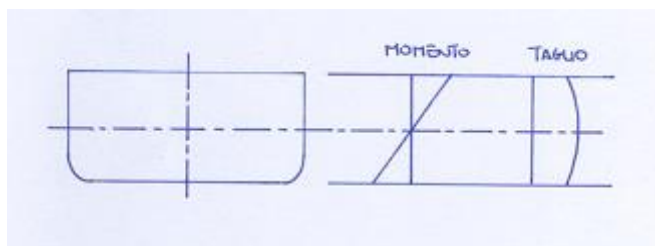


Figura 10 - Andamento delle sollecitazioni sulla sezione maestra

Ad ogni modo, la verifica relativa al solo momento flettente è in molti casi esaustiva, in quanto rappresenta per molti tipi di nave la maggiore fonte di sollecitazione. Viceversa, in alcuni casi può essere necessario effettuare verifiche anche in sezioni diverse da quella maestra: un esempio di ciò è la verifica combinata di taglio e momento necessaria soprattutto nel caso di navi caricate a stive alterne. Si usa per questa verifica la formula di VON MISES prendendo i valori massimi delle diverse tensioni:

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma_{MAX}^2 + 3 \cdot \tau_{MAX}^2}$$

Così facendo si commette comunque un piccolo errore, che risulta comunque a vantaggio della sicurezza.

L'effettiva sollecitazione agente sul ponte, risulta essere invece maggiore di quella teorica a causa della presenza del bolzone.

Completata la verifica della sezione maestra; si può passare all'effettivo dimensionamento della sezione che culmina con il disegno della sezione maestra da sottoporre all'approvazione della Società di Classifica. Per convenzione, in una metà del disegno si riportano gli elementi longitudinali e nell'altra quelli trasversali. In generale al di fuori della sezione maestra le sollecitazioni diminuiscono notevolmente.

Infine si realizza il PIANO DEI FERRI: dal suo esame si evince che la struttura della nave resta pressoché invariata per circa metà lunghezza nave, mentre nelle zone di estremità i rinforzi diminuiscono e si rarefanno (senza però brusche interruzioni), in conseguenza dello sfinamento delle forme e della diminuzione delle sollecitazioni. Il piano dei ferri rappresenta in sostanza il riassunto del dimensionamento di tutti i ferri che costituiscono la struttura della nave.

È stato affrontato il problema dell'efficienza dei ponti di sovrastruttura, ed è stato rilevato che in alcuni casi si possono avere delle incertezze sulla loro effettiva partecipazione alla robustezza longitudinale. A tale proposito anche gli stessi Regolamenti di Classe hanno specifiche prescrizioni che è sempre bene considerare, soprattutto per le navi passeggeri per cui l'estensione longitudinale delle sovrastrutture è paragonabile alla lunghezza della nave.

Il punto fondamentale è che i ponti situati nella parte alta dello scafo, da un lato danno un contributo notevole per quanto riguarda il momento d'inerzia, dall'altro spostano verso l'alto l'asse neutro. In sostanza tali ponti potrebbero rappresentare un problema; ad esempio nel caso di una nave insellata potrebbero dar luogo a fenomeni di instabilità, dovuti a compressione, e quindi una situazione potenzialmente critica per il ponte in esame.

2.2 I software di ausilio alla progettazione strutturale

Attualmente, le principali società di Classifica Navale (IACS) mettono a disposizione dei progettisti, dei cantieri e degli armatori alcune suite di software che permettono di affrontare molti dei calcoli necessari per la verifica della soddisfazione dei criteri imposti per l'ottenimento della Classe. Di seguito si riporta la lista completa delle suite di software ad oggi disponibili organizzate in base alla società, con una piccola descrizione dei task di cui sono capaci:

- ABS
 - Offre solo software per la gestione della flotta da parte degli armatori.
- Bureau Veritas
 - Veristar, composto dai seguenti pacchetti:
 - Veristar Hull 5: destinato alle verifiche strutturali FEM di scafo sulla base dei criteri del BV;
 - Veristar Complete Ship Model: strumento completo di verifica della nave che integra i criteri del BV alle verifiche FEM;
 - Veristar Stability: strumento per la verifica della stabilità della nave sia allo stato integro che in condizioni di falla.
 - Veristar Offshore: suite composta da diversi moduli che affrontano l'idrodinamica, l'ormeggio e l'interazione tra strutture e mare per unità offshore;
 - Veristar Lashing: strumento per la verifica del rizzaggio dei container.
 - MARS2000: software per la verifica del dimensionamento strutturale locale e globale secondo i criteri del BV (analogo a Leonardo Hull 2D del RINA).
 - RUDDER2000: calcolo del dimensionamento del timone secondo le norme BV.
 - MARSPEED: software per la verifica di High Speed Craft secondo i regolamenti BV.
 - COMPOSEIT: strumento che permette la verifica di pannelli e rinforzi in materiale composito secondo il regolamento yacht del BV.
 - LIRA: programma per l'esecuzione dei calcoli di allineamento della linea d'assi.
 - STEEL: programma per la verifica tridimensionale delle travi (analogo al 3dbeam del DNV).
- China Classification Society

- COMPASS: per le verifiche del dimensionamento strutturale di tanker e bulk carrier in accordo ai regolamenti del CCS (è tutto interamente in cinese), include anche un'interfaccia per le verifiche FEM.
- Croatian Register of Shipping
 - Non offre nessun software.
- Det Norske Veritas - Germanischer Lloyd
 - Nauticus Hull
 - Nauticus Machinery
 - Nauticus Machinery High Speed
 - Poseidon
- Indian Register of Shipping
 - Non offre nessun software.
- Korean Register of Shipping
 - SeaTrust, articolato nei pacchetti:
 - SeaTrust-ISTAS
 - SeaTrust-Holdan
 - SeaTrust-Ubuckle
 - SeaTrust-FANSYS
- Lloyd's Register
 - Argonaut:
 - Shipright:
 - RulesCalc:
 - RulesClac Offshore:
 - SSC:
 - Rulefinder:
 - NSR:
 - Mariner:
 - Lashright:
- Class NK
 - Primeship: è una suite destinata alla gestione della flotta da parte degli armatori.
- Polish Register of Shipping

- Non offre nessun software.
- RINA
 - Leonardo HULL, articolato nei pacchetti:
 - 3D FEM analysis: software per l'analisi strutturale della nave tramite calcolo diretto a elementi finiti. Include modellatore e post-processore dedicati, con funzionalità specifiche per la modellazione di strutture navali, per l'applicazione dei carichi e le verifiche a snervamento, instabilità e fatica in accordo con le norme RINA.
 - 2D Section and Bulkhead scantlings: software di calcolo regolamentare delle sezioni trasversali e delle paratie, incluse le verifiche a fatica di dettagli strutturali e a resistenza ultima.
 - Bulk carrier safety: Un agile strumento per la valutazione strutturale delle bulk carriers in accordo con i requisiti SOLAS e IACS.
 - Leonardo Propulsion, è composto da 4 moduli
 - Shaftline: calcolo delle vibrazioni torsionali di impianti di propulsione e di generazione, incluso il calcolo regolamentare RINA;
 - Crankshaft: calcolo a fatica dell'albero a gomiti in accordo ai Regolamenti RINA;
 - Propeller: software di calcolo dimensionale dell'elica in accordo ai Regolamenti RINA;
 - Shrink-fit: calcolo di forzamento generalizzato in accordo ai Regolamenti RINA.
 - Leonardo Hull 2D - Charter Yachts: strumento di verifica strutturale per charter yacht costruiti in acciaio o in lega leggera.
 - CE-STAB: strumento per la valutazione della stabilità delle imbarcazioni da diporto in accordo alle norme ISO 12217-1/2/3.
 - CE-STAB-I: per la prova pratica di stabilità delle imbarcazioni da diporto.
 - CE-STAB-M: per la verifica del criterio meteorologico nelle imbarcazioni da diporto.
 - CE-STAB-S: per la verifica della stabilità al vento delle imbarcazioni da diporto.
 - STR-DIP: per la verifica degli scafi delle imbarcazioni da diporto in materiale composito, acciaio o lega leggera.

- SCW: per la valutazione di finestre e oblò delle imbarcazioni da diporto in accordo alla norma ISO 12216.
- Leonardo for piping and pressure vessels, composto da 2 moduli:
 - Boiler and pressure vessels: per la verifica delle caldaie e dei serbatoi a pressione secondo i regolamenti RINA;
 - Hydraulic oil cylinder: per la verifica degli attuatori idraulici secondo i regolamenti RINA.
- Russian Maritime Register of Shipping
 - Non offre nessun software.

2.3 Il programma Leonardo Hull 2D del RINA

Il programma Leonardo è un programma di calcolo strutturale orientato alla verifica delle strutture della nave sulla base delle formulazioni proposte dal Registro e rappresenta perciò un utile strumento per la progettazione strutturale di base. Tale software consiste di diversi moduli, specificamente elaborati per la progettazione-verifica della robustezza globale della nave e della robustezza locale degli elementi strutturali. Utilizzando il programma Leonardo Hull la trave-nave può essere progettata definendo le caratteristiche principali della nave, dello scafo resistente e delle sezioni trasversali a diverse ascisse.

L'introduzione dei dati riguardanti la nave viene effettuata attraverso la subroutine definita "Basic Ship Data" (BSD), la definizione delle sezioni trasversali viene fatta utilizzando la subroutine "Section", entrambe richiamate dal pannello di controllo.

2.3.1 La gestione del programma

La pagina di gestione del programma è quella da cui si richiamano le subroutine relative al calcolo, all'immissione dati e alla registrazione e stampa. Tale pannello di controllo presenta:

- una barra del menù con i comandi di gestione delle diverse subroutine del programma;
- una finestra che indica il percorso del database attivo;
- una finestra che elenca gli elementi strutturali contenuti nel database aperto;
- una finestra che illustra l'elemento strutturale attivato;
- alcuni pulsanti per il richiamo dei comandi più frequenti.

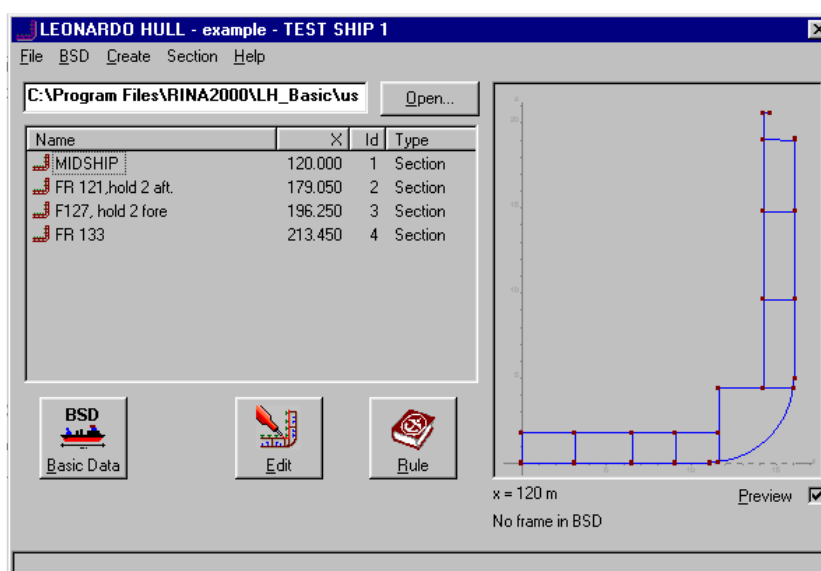


Figura 11 - Leonardo Hull 2D schermata di gestione

I comandi contenuti nella barra del menù sono suddivisi in cartelle:

- la cartella File per la gestione del database;
- la cartella BSD per la definizione delle caratteristiche principali del progetto;
- la cartella Create per l'attivazione della modalità di definizione dei diversi elementi strutturali, quali le sezioni trasversali, le paratie stagne o i modelli per la torsione;
- la cartella Section per la gestione delle sezioni trasversali.

2.3.2 I manuali d'uso

I manuali per l'uso del programma sono disponibili in formato "pdf" e possono essere visualizzati a schermo richiamandoli direttamente dalla stessa cartella del menù in cui si trova il programma Leonardo Hull. Le sezioni che interessano la fase di progetto della trave-nave sono le seguenti:

- User Guide 1 - Basic Ship Data, (per la definizione delle caratteristiche principali della nave)
- User Guide 2 - Section Input, (per la definizione delle sezioni trasversali dello scafo resistente)

2.3.3 La subroutine "Basic Ship Data"

Il calcolo della robustezza longitudinale della nave viene effettuato una volta che sono state definite le caratteristiche principali dello scafo e quelle delle sezioni resistenti.

Il programma effettua la valutazione della robustezza delle strutture, sia a livello globale (trave-nave) che a livello locale (pannelli nervati). Non sono previsti calcoli relativi alle travi rinforzate (grigliati e telai).

Per prima cosa vanno definite le caratteristiche principali della nave, tale operazione viene eseguita utilizzando la subroutine Basic Ship Data (BSD). I dati richiesti per effettuare il calcolo delle caratteristiche di sollecitazione di trave-nave e per definire i carichi locali indotti dal mare sono suddivisi in categorie, a ognuna di esse corrisponde una pagina per l'immissione dei dati. Le pagine sono organizzate nel modo seguente:

- General per la definizione del nome di riferimento del progetto e dei dati correlati;
- Notations & Main Data per la definizione del tipo di nave e delle sue caratteristiche principali;

- Moment & Draught per la definizione delle caratteristiche di sollecitazione di calcolo della trave-nave e dei dati correlati;
- Bow Flare per la definizione delle forme di prora per la valutazione di sollecitazioni aggiuntive di slamming;
- Materials per la definizione dei materiali utilizzati per la costruzione dello scafo;
- Frame Locations per la definizione del piano delle ossature;
- Calculation & Print per la definizione delle modalità di valutazione della robustezza longitudinale, per l'esecuzione dei calcoli e per la gestione della stampa su carta.

Seguono le indicazioni per la compilazione delle singole schermate. Per ciascuna pagina vengono elencati e commentati i dati da inserire, completi dell'indicazione del valore da assumersi in relazione alla nave oggetto delle esercitazioni.

(1) General

Dati riassunti dalla pagina

Nome di riferimento del progetto e dati correlati; indicazioni generiche per il progetto.

Aspetto grafico

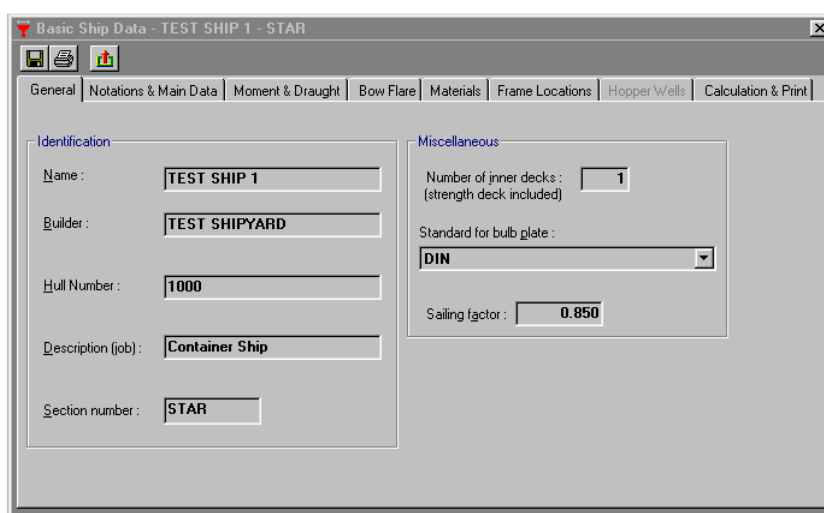


Figura 12 - Basic Ship Data

Elenco dei dati e note

- Name [*]: i dati nel riquadro "Identification" non sono rilevanti ai fini del calcolo
- Builder [corso di costruzioni navali]
- Hull Number [001/anno]
- Description [nave cisterna]

- Section Number [giorno/mese/anno]: riferimento per identificare la sessione di lavoro, per esempio la data
- Number of inner decks [1]: il numero dei ponti si riferisce ai ponti continui da murata a murata al di sopra del cielo del doppiofondo, compreso il ponte di resistenza anche se a sviluppo ridotto
- Standard of bulb plate [DIN]: lo standard per la definizione dei ferri a bulbo va fissato in armonia con le disponibilità di cantiere, viene definito per permettere al programma di calcolare le caratteristiche esatte dei ferri in oggetto
- Sailing factor [0.85]: il fattore di navigazione si riferisce alla frazione della vita della nave spesa in mare e serve per valutazioni di resistenza a fatica, ossia per il calcolo del danno cumulativo di fatica

(2) Notation & Main Data

Dati riassunti dalla pagina

Tipo di nave, caratteristiche principali e indicazioni sul corpo delle stive.

Aspetto grafico

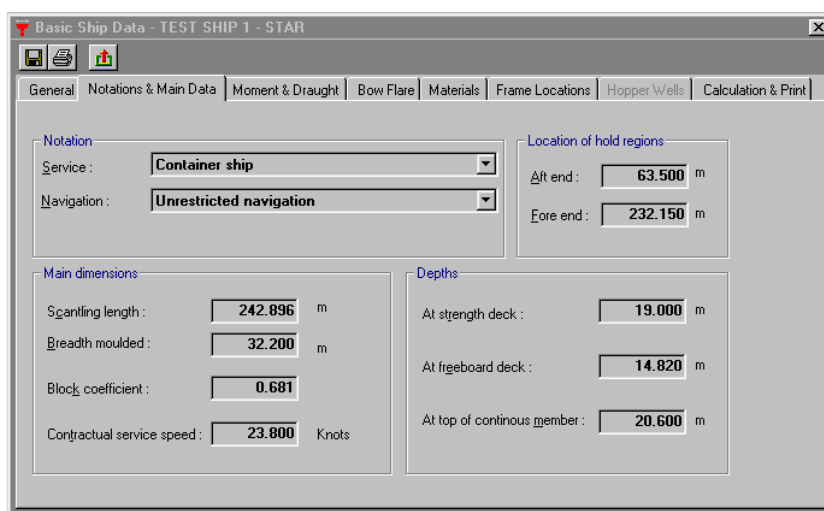


Figura 13 - Notations & Main Data

Elenco dei dati e note

- Service [Oil tanker and FLS tanker]: il tipo di servizio serve per determinare le norme specifiche cui il progetto deve sottostare
- Navigation [unrestricted navigation]: il tipo di navigazione serve per definire i parametri che regolano la robustezza dello scafo in funzione della severità del mare

- Scantling length [121,80]: i dati nei riquadri “Main dimensions” e “Location of hold regions” vanno definiti sulla base della normativa e costituiscono le dimensioni principali della nave per il dimensionamento strutturale la lunghezza di calcolo (detta Rule length o Scantling length) va definita con particolare attenzione (vedi Pt B, Ch 1, Sec2). In base alle lunghezze caratteristiche della nave si perviene ad una Scantling length prossima a quella tra le perpendicolari, qui assunta perciò come lunghezza di calcolo:

lunghezza tra le perpendicolari 121,80 m

lunghezza al galleggiamento..... 125,30 m

lunghezza fuori tutto 130,80 m

valori limite della lunghezza di calcolo..... $120,30\text{ m} < L < 121,54\text{ m}$

- Breadth moulded [18,900]
- Block coefficient [0,770]
- Contractual service speed [17,500]
- Location of hold region: Aft End [20,350]: le distanze in direzione longitudinale sono riferite alla Aft End (AE)
- Location of hold region: Fore End [115,35]
- Depths at strength deck [10,000]: i dati nel riquadro “Depths” sono definiti per il calcolo dei moduli di resistenza della trave-nave
- Depths at freeboard deck [10,000]
- Depths at top of continous member [10,450]

(3) Moment & Draught

Dati riassunti dalla pagina

Dati per la definizione delle caratteristiche di sollecitazione di progetto della trave-nave.

Aspetto grafico

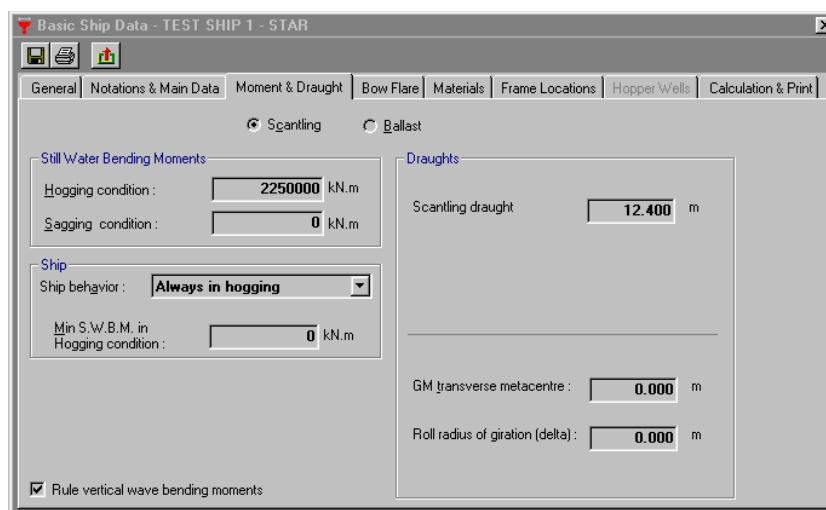


Figura 14 - Moment & Draught

Elenco dei dati e note

- S.W.B.M. Hogging Condition [0]: i valori estremi di S.W.B.M. sulla sezione maestra servono per il dimensionamento della trave-nave, quando non sono noti vengono calcolati dal programma in base alla normativa (in questo caso immettere 0,000)
- S.W.B.M. Sagging Condition [0]
- Ship behavior [Always in hogging]: i dati nel riquadro “Ship” servono per valutare i momenti flettenti estremi di registro in funzione del comportamento previsto dello scafo
- Minimum S.W.B.M. in Hogging Condition [0]
- Scantling draught [12,400]: i dati nel riquadro “Draughts” servono per valutare i carichi locali esterni di pressione marina e interni inerziali
- Minimum ballast draught [3,600]
- GM transverse metacentre [0,000]: quando non è noto viene calcolato dal programma in base alla normativa (in questo caso immettere 0,000)
- Roll radius of giration [0,000]: quando non è noto viene calcolato dal programma in base alla normativa (in questo caso immettere 0,000)

- Rule vertical wave bending moment [✓]: indica di utilizzare i valori di regolamento di W.B.M. per un progetto in armonia con le indicazioni di registro

(4) Bow Flare

Dati riassunti dalla pagina

Dati per la definizione delle forme di prora per la valutazione di sollecitazioni aggiuntive di slamming.

Aspetto grafico

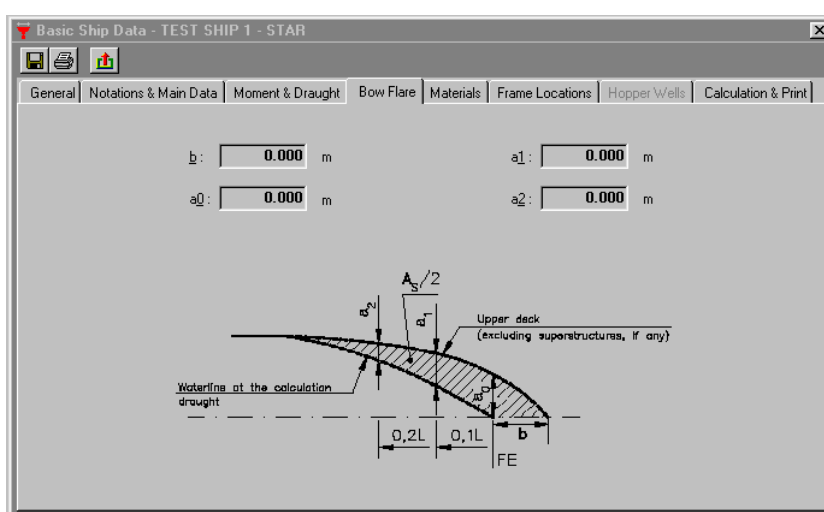


Figura 15 - Bow Flare

Elenco dei dati e note

- b-a0-a1-a2 [4,350 – 2,800 – 2,400 – 0,000]: le caratteristiche geometriche delle forme di prora portano alla valutazione di un momento flettente d'onda insellante corretto per tenere conto dello slamming per navi con velocità massima di servizio maggiore di 17,5 nodi e con forme di prora slanciate (calcolo effettuato in base alla normativa)

(5) Materials

Dati riassunti dalla pagina

Dati per la definizione dei materiali utilizzati per la costruzione dello scafo.

Aspetto grafico

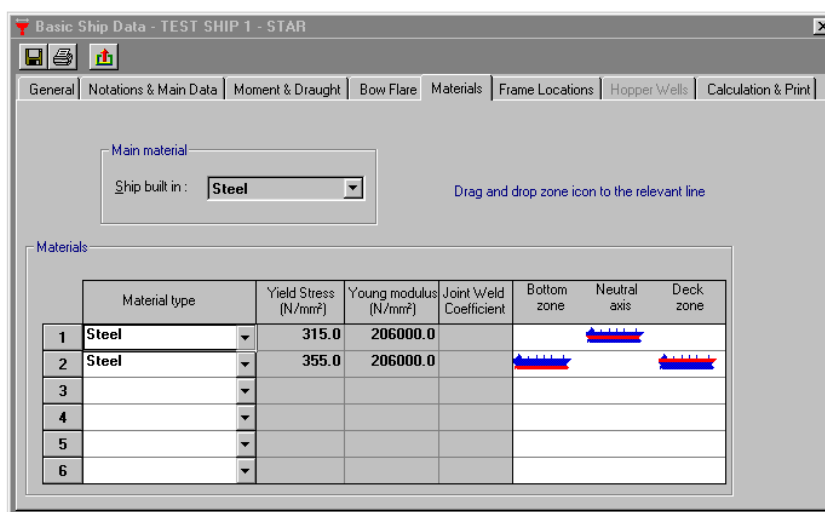


Figura 16 - Materials

Elenco dei dati e note

- Main material [Steel]: in base al materiale sono definite le sollecitazioni massime ammissibili nelle diverse zone dello scafo
- Materials [Steel – 315,0 – 206000,0 – Bottom, Neutral axis and Deck zone]: i valori delle caratteristiche meccaniche del materiale sono inseriti automaticamente dal programma ma possono essere modificati; l'altezza delle zone con materiale ad elevata resistenza deve essere definita in base alle normative

(6) Frame locations

Dati riassunti dalla pagina

Dati per la definizione del piano delle ossature.

Aspetto grafico

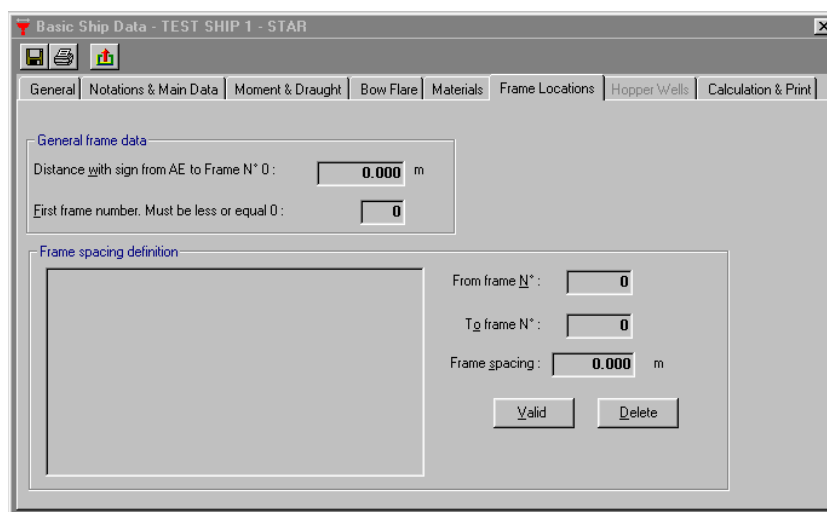


Figura 17 - Frame Locations

Elenco dei dati e note

- Distance with sign from AE to Frame n.0 [0,300]: i valori sono riferiti alla perpendicolare addietro per il dimensionamento dello scafo AE, definita dal Registro i codici identificativi delle ossature sono per convenzione negativi a poppavia della AE
- First frame number [-8]
- Frame space definition (from frame n. – to frame n. – frame spacing) [-8 -6 0.645] [-6 10 0.610] [10 32 0.725] [32 156 0.750] [156 174 0.600]: sono qui definiti i gruppi di ossature, da poppa a prora, caratterizzati da uguale spaziatura: per ogni gruppo è necessario introdurre prima i codici delle ossature estreme del gruppo e poi l'intervallo comune

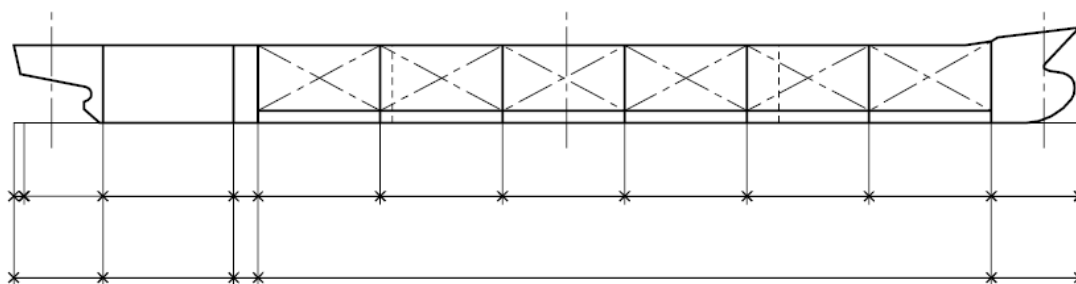


Figura 18 - Identificazione del piano delle ossature

(7) Calculation & Print

Dati riassunti dalla pagina

Dati per la definizione delle modalità di valutazione della robustezza longitudinale, per l'esecuzione dei calcoli e per la gestione della stampa su carta.

Aspetto grafico

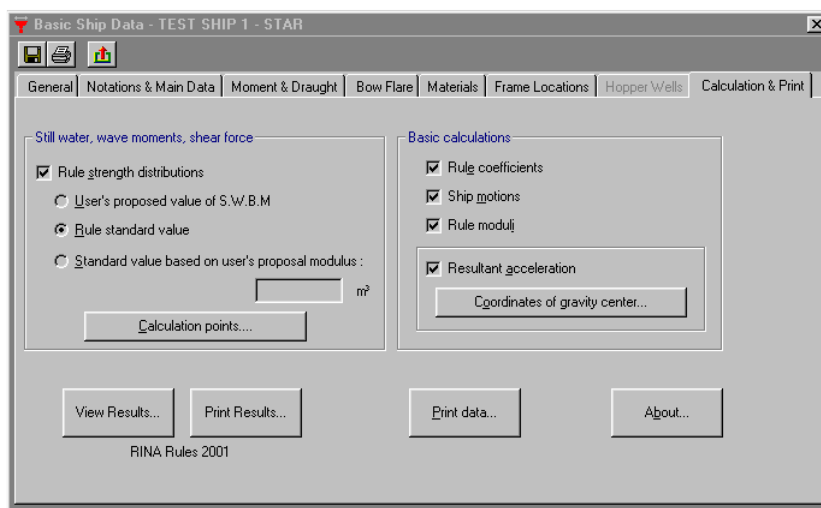


Figura 19 - Calculation & Print

Elenco dei dati e note

- Print data... : tramite questo tasto si effettua la stampa dei dati finora inseriti
- View results... – Print results... : tramite questi tasti si accede ai risultati dei calcoli richiesti tramite selezione delle singole voci nei riquadri superiori, rispettivamente per visionarli a schermo e per stamparli (i calcoli vengono effettuati con la normativa aggiornata all'anno indicato sulla schermata)
- Still water, wave moments, shear force – Rule standard value [✓]: in base al criterio selezionato per la valutazione delle caratteristiche di sollecitazione sulla sezione maestra, il programma calcola la distribuzione delle stesse lungo la nave in base al regolamento. Nella fase di progetto è conveniente utilizzare l'opzione di calcolo "Rule standard value" che fa riferimento alle normative per la definizione delle c.d.s. sulla sezione maestra; in alternativa con l'opzione "User's proposed value for S.W.B.M." si può fare riferimento ai valori estremi noti, oppure con l'opzione "Standard value based on user's proposal modulus" si può richiedere il valore delle c.d.s. massime di Registro per una nave avente una sezione maestra nota (e definita dal valore del modulo di resistenza minimo). Con il successivo uso del tasto "View Results..." si può visionare la

distribuzione longitudinale delle caratteristiche di sollecitazione di progetto valutate in base alla normativa

- Still water, wave moments, shear force – Calculation point [Frame n.83]: attivando questa opzione e seguendo le istruzioni sopra riportate per il calcolo della distribuzione delle caratteristiche di sollecitazione il programma mostra i valori assunti dalle stesse sulle sezioni trasversali selezionate
- Basic calculations – Rule coefficients [✓]: il programma calcola in base al regolamento i parametri per la valutazione dei carichi locali di pressione esterna e interni d'inerzia, oltre ai dati essenziali per tenere conto della resistenza del materiale con il successivo uso del tasto "View Results..." si possono visionare i parametri calcolati
- Basic calculations – Ship motions [✓]: il programma calcola i parametri per i calcoli relativi ai moti nave in mare ondoso (ampiezze, accelerazioni e movimenti relativi) con il successivo uso del tasto "View Results..." si possono visionare i parametri appena calcolati
- Basic calculations – Rule moduli [✓]: il programma calcola il modulo di resistenza minimo per la sezione maestra facendo riferimento alle norme del registro e ai momenti flettenti massimi previsti per la nave con il successivo uso del tasto "View Results..." si possono visionare i parametri appena calcolati
- Basic calculations – Resultant acceleration [✓]: il programma calcola le accelerazioni indotte dai moti nave sulle diverse sezioni dello scafo, a tale scopo utilizza le coordinate del centro di gravità definite con il tasto "Coordinates of gravity center..." con il successivo uso del tasto "View Results..." si possono visionare i parametri appena calcolati

2.3.4 La subroutine "Section"

In questa fase si definiscono le caratteristiche geometriche, strutturali e costruttive delle sezioni resistenti trasversali della trave-nave. Alcuni dati vengono qui definiti per la prima volta, altri invece vengono richiamati da quelli già inseriti nel modulo BSD quando sono correlati alla definizione delle caratteristiche principali della nave o al calcolo delle caratteristiche di sollecitazione.

Per prima cosa devono essere definiti alcuni dati generici tramite le seguenti pagine:

- Main Data per la definizione delle caratteristiche geometriche principali della sezione e del materiale;
- Strength per la definizione delle c.d.s. da considerare per il successivo calcolo delle tensioni primarie sulla sezione;
- Fatigue per la definizione delle caratteristiche delle saldature ai fini della verifica a fatica dei punti critici –rappresentati dalle intersezioni fra elementi strutturali (hot spot);
- Ship State per la definizione delle modalità di calcolo;

Una volta introdotti questi dati, il programma propone la schermata di lavoro per la definizione della sezione strutturale.

A questo punto inizia la sessione di lavoro vera e propria per la definizione della sezione: innanzitutto si definiscono la geometria e il dimensionamento di partenza dei fasciami a sviluppo longitudinale, successivamente si definiscono la posizione e il dimensionamento dei rinforzi ordinari ed infine si passa alla caratterizzazione dei carichi locali. Tali operazioni vengono eseguite lavorando su una pagina che è suddivisa in diverse zone, contenenti i tasti per i comandi, il foglio grafico per effettuare il disegno della sezione e la tabella per l'introduzione dei dati.

Seguono le indicazioni per la compilazione delle singole schermate. Per ciascuna pagina vengono elencati e commentati i dati da inserire, completi dell'indicazione del valore da assumersi in relazione alla sezione maestra della nave oggetto delle esercitazioni. Segue poi l'illustrazione della procedura per la definizione della sezione strutturale.

(1) Main Data

Dati riassunti dalla pagina

Dati per la definizione della posizione e delle caratteristiche principali della sezione.

Aspetto grafico

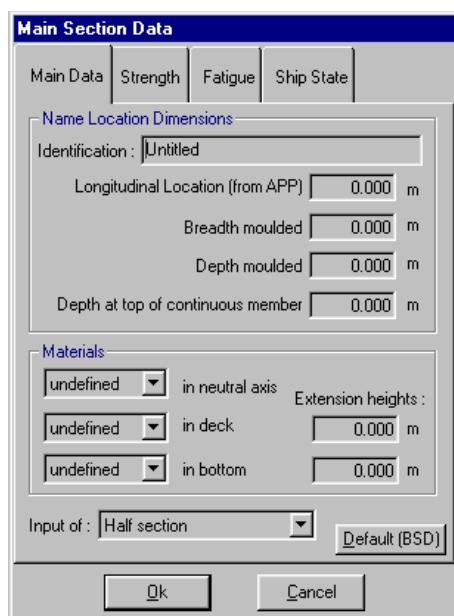


Figura 20 - Main Section Data (A)

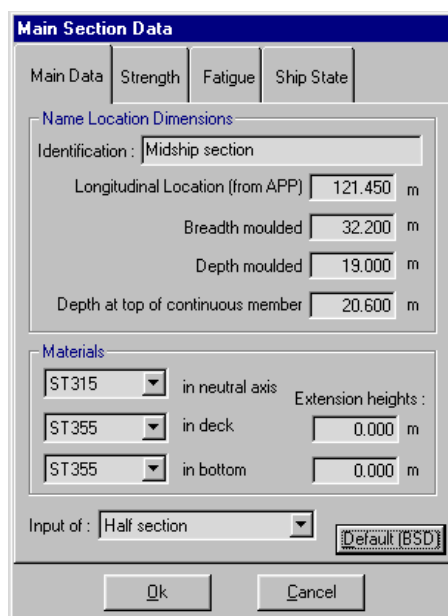


Figura 21 - Main Section Data (B)

Elenco dei dati e note

- Identification [sezione maestra]
- Longitudinal location (from AE) [60.900]
- Breadth moulded [18.900]
- Depth moulded [10.000]
- Depth at top of continuous member [10.450]
- Material: i dati nel riquadro “Material” sono definiti con le stesse modalità di compilazione della cartella “Material” nella subroutine BSD
- Input of... [Half section]: utilizzare l’opzione “Half section” se la sezione è simmetrica
- Default (BSD) [✓]: utilizzare questa opzione per richiamare i dati definiti nella sessione BSD

(2) Strength

Dati riassunti dalla pagina

Dati per la definizione delle c.d.s. da considerare per il successivo calcolo delle tensioni primarie sulla sezione.

Aspetto grafico

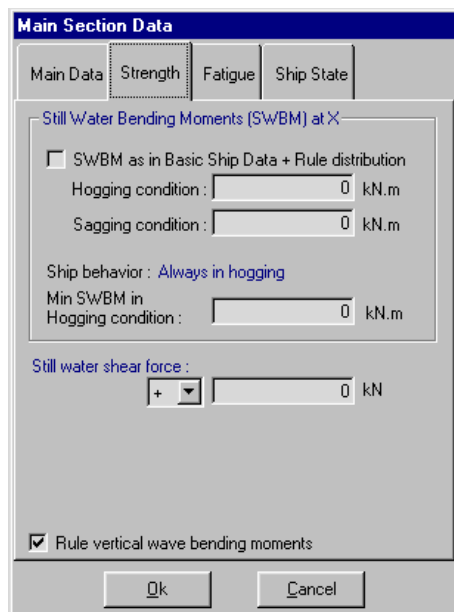


Figura 22 - Strength (A)

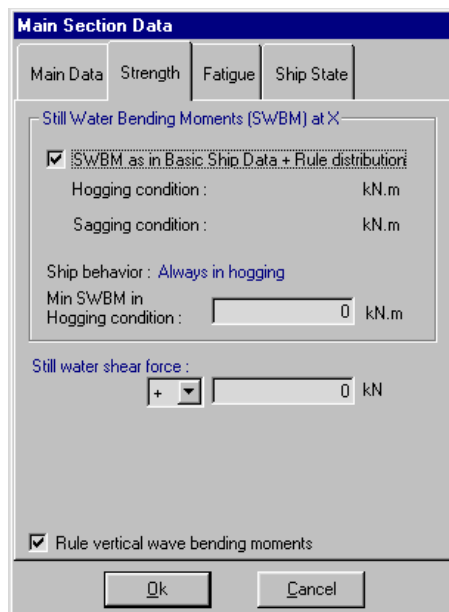


Figura 23 - Strength (B)

Elenco dei dati e note

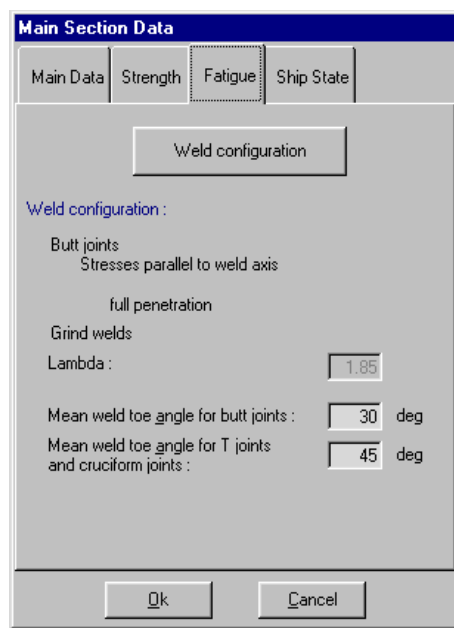
- SWBM as in BSD + Rule distribution [✓]
- Ship behavior: il comportamento della nave è quello definito nella sessione BSD
- Minimum SWBM in Hogging condition [0]: il valore del momento qui richiesto va ridefinito anche se è già stato fissato nella sessione BSD
- Still water shear force [0]: il valore del taglio massimo in acqua tranquilla sulla sezione trasversale va definito con le convenzioni usate per le caratteristiche di sollecitazione di trave–nave indicate dal Registro (Part B, Cap 5, Sec 2)
- Rule vertical wave bending moments [✓]: utilizzare i valori di Registro per effettuare un progetto a norma

(3) Fatigue

Dati riassunti dalla pagina

Dati per la definizione delle caratteristiche delle saldature ai fini della verifica a fatica dei punti critici, rappresentati dalle intersezioni fra elementi strutturali (hot spot).

Aspetto grafico



Main Section Data

Main Data Strength **Fatigue** Ship State

Weld configuration

Weld configuration :

Butt joints
Stresses parallel to weld axis
full penetration

Grind welds

Lambda : 1.85

Mean weld toe angle for butt joints : 30 deg

Mean weld toe angle for T joints and cruciform joints : 45 deg

Ok Cancel

Figura 24 - Fatigue

Elenco dei dati e note

I dati qui introdotti si riferiscono alla definizione dei fattori di concentrazione degli sforzi in corrispondenza dei punti critici. In una fase preliminare del progetto si accettino i valori standard proposti per tutte le grandezze qui richiamate.

(4) Ship State

Dati riassunti dalla pagina

Dati per la definizione delle modalità di calcolo.

Aspetto grafico

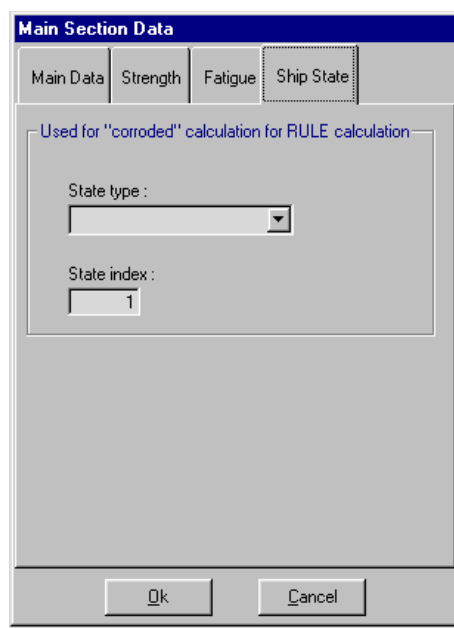


Figura 25 - Ship State

Elenco dei dati e note

- State type [project]: il parametro “state type” è un dato che serve per memorizzare la particolare sessione creata, infatti una sezione trasversale può essere definita con spessori diversi, in funzione sia di diverse opzioni di progetto, sia di diverse condizioni di corrosione per una verifica della struttura nel corso della sua vita. Si osservi che questo parametro influenza l’analisi strutturale che verrà di seguito effettuata, infatti l’opzione “survey” comporta lo svolgimento dei calcoli strutturali con sezione caratterizzata da un predeterminato tasso di corrosione (“corroded section”)
- State index [1]: il parametro “state index” va eventualmente utilizzato per definire la versione di progetto della struttura in esame

Procedura per la definizione della sezione strutturale

In questa fase si definiscono le caratteristiche geometriche, strutturali e costruttive della sezione trasversale. La sessione di lavoro per la definizione della sezione strutturale va sviluppata nelle seguenti fasi:

- definizione della geometria dei fasciami a sviluppo longitudinale;
- definizione dei corsi di fasciame e degli spessori;
- definizione della posizione e del dimensionamento dei rinforzi ordinari a sviluppo longitudinale;
- definizione della posizione e del dimensionamento dei rinforzi ordinari trasversali.

Il percorso da seguire è quindi quello che prevede la creazione ordinata delle diverse entità strutturali:

fasciami → rinforzi longitudinali → rinforzi trasversali

per ognuna delle quali va seguita una procedura che si basa sulla definizione prima della geometria e poi del dimensionamento. Si passa infine alla caratterizzazione dei soli carichi locali poichè quelli globali sono desunti dalle già definite caratteristiche di sollecitazione della trave-nave.

La pagina di lavoro presenta la barra del menù, una zona laterale contenente i tasti dei comandi più utilizzati, il foglio grafico per disegnare la sezione e una tabella per l'introduzione dei dati.

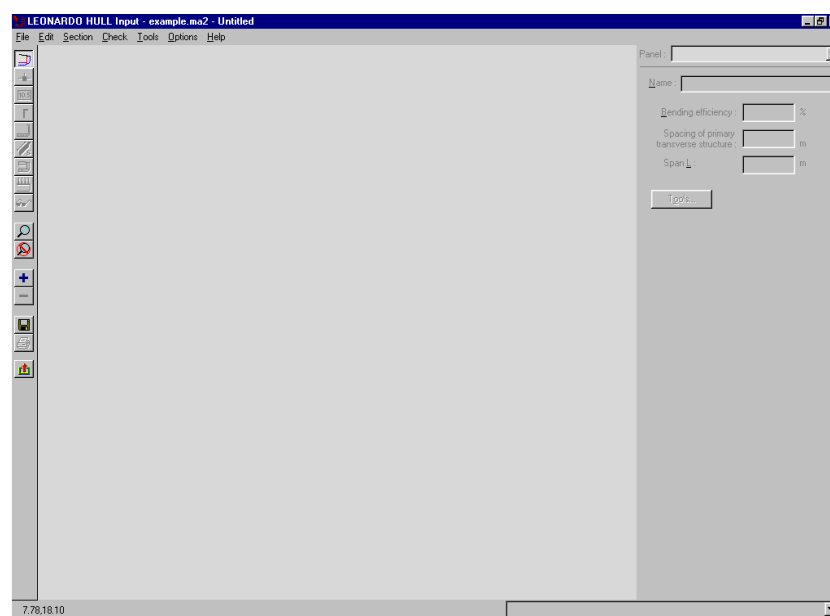


Figura 26 - Schermata della subroutine Section

I comandi per la gestione della subroutine “Section” sono contenuti nella barra del menù e sono così suddivisi:

- nella cartella File si trovano i comandi per la gestione del file contenente tutti i dati della sezione sulla quale si sta lavorando, sono qui presenti anche i comandi per la stampa dei dati su carta e per la stampa dei disegni su files del tipo “bmp”; in questa cartella è collocato il comando per la chiusura della sessione;
- nella cartella Edit si trovano alcuni comandi di gestione (“Undo”, “Copy to clipboard”);
- nella cartella Section è presente il comando per il richiamo delle pagine di dati che sono state precedentemente illustrate (Main Data, Strength, Fatigue e Ship State), oltre ai comandi per la creazione degli elementi strutturali della sezione e dei carichi locali;
- nella cartella Check sono contenuti i comandi per il controllo grafico dei principali parametri strutturali definiti, il comando “... list” permette poi di elencare a schermo le caratteristiche delle singole entità strutturali;
- nella cartella Tools sono contenuti i comandi per la creazione e la selezione delle diverse entità strutturali, tali comandi sono più comodamente accessibili dalla barra disposta lateralmente sulla destra dello schermo;
- nella cartella Options sono contenuti i comandi per la gestione di grafica e di stampa su carta.



La definizione dei fasciami: i pannelli

Il fasciame viene definito creando dei pannelli sui quali andranno poi adagiati i singoli corsi: i pannelli rappresentano le linee mediane delle lamiere, e costituiscono quindi lo schema geometrico, i corsi rappresentano gli elementi strutturali, e sono definiti dalla larghezza e dallo spessore.

Il programma Leonardo Hull possiede la caratteristica di essere “panel-oriented”, intendendo con ciò che l’intera struttura della sezione trasversale viene definita sulla base della suddivisione del fasciame in pannelli. Perciò non solo i corsi di fasciame, ma anche i rinforzi ordinari vengono definiti con riferimento alla geometria dei pannelli.

Tali pannelli devono possibilmente corrispondere a zone strutturalmente omogenee, in modo da facilitare la definizione dei corsi e dei relativi rinforzi e contemporaneamente anche la gestione dell’intero complesso strutturale.

Nel caso in esame può risultare opportuno suddividere i fasciami della sezione maestra nelle seguenti zone:

- una zona per lo scafo esterno (fondo e murata),
- una zona per il cielo del doppiofondo,
- una zona per la paratia longitudinale,
- una zona per il ponte di coperta,
- una zona per ogni paramezzale,
- una zona per ogni copertino,
- una zona per ogni anguilla,

a ciascuna zona va quindi associato un pannello.

Dal punto di vista geometrico il singolo pannello è una curva descritta da una un'ascissa curvilinea – e per questo motivo non può presentare biforcazioni – tracciata tra due nodi di estremità.

La creazione di un pannello viene effettuata definendo i due punti di estremità e la funzione della curva che li congiunge. Tale curva, nella sua configurazione più semplice, può essere costituita da un singolo segmento rettilineo oppure da un arco di cerchio. Sulla base di questi due tipi di elementi si può anche generare un pannello formato da una spezzata mistilinea tesa fra una serie di punti successivi e, per facilitare tale composizione, si può fare ricorso a funzioni speciali.

Indipendentemente dal numero di bracci della spezzata che lo compone, un pannello deve essere creato con la successione di operazioni di seguito elencate che prevedono nell'ordine di:

- I. attivare la modalità di gestione dei pannelli,
- II. aggiungere nella sezione un pannello tramite il comando “Add object”,
- III. definire il nome identificativo del pannello nella tabella riassuntiva dei dati, tabella che sta alla destra del foglio grafico,
- IV. definire, nella stessa tabella, le altre caratteristiche richieste,
- V. definire la geometria del pannello.

Il nome del pannello e le caratteristiche comuni delle lamiere che lo compongono sono definite, come detto, nella tabella riassuntiva dei dati, che si presenta nel modo seguente:

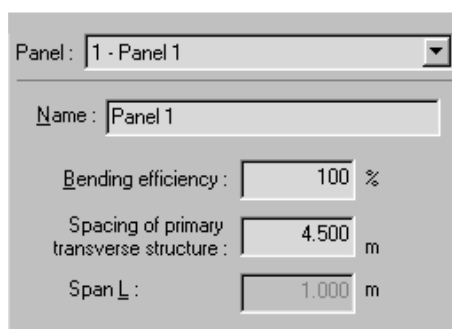


Figura 27 - Creazione di un pannello

In essa compare innanzitutto la cartella “Panel” nella quale sono elencati i nomi identificativi dei pannelli creati. Tale cartella permette di effettuare velocemente la selezione del pannello su cui si intende operare. Nella zona sottostante si trova l’elenco delle caratteristiche del pannello su cui si sta lavorando: il nome (“Name”), l’efficienza alla robustezza longitudinale (“Bending efficiency”), la distanza fra le travi robuste che costituiscono il supporto del pannello nella direzione della campata longitudinale (“Spacing of primary transverse structure”) e infine la campata longitudinale dei rinforzi ordinari –definita in altra sede– (“Span L”).

La geometria del pannello si definisce, come detto, tracciando una linea passante per due o più nodi; i singoli tratti fra due nodi successivi sono definiti “segmenti”, che possono essere rettilinei o curvi. La creazione del pannello consiste perciò nella creazione dei singoli segmenti che lo compongono.

Per generare il primo segmento del pannello è necessario:

- I. attivare la modalità di gestione dei nodi,
- II. inserire le coordinate del nodo #1 nella tabella riassuntiva dei dati posta alla destra del foglio grafico – si osservi che il sistema di riferimento è di tipo cartesiano, costituito dall’asse “y” delle ascisse e dall’asse “z” delle ordinate –,
- III. aggiungere nella sezione il nodo #2 tramite il comando “Add object”,
- IV. scegliere, nella tabella riassuntiva, il tipo di curva corrispondente al segmento teso fino al nodo #2 – per acquisire pratica nella gestione dei segmenti del pannello si considerino inizialmente solo segmenti rettilinei –,
- V. inserire le coordinate del nodo #2 nella tabella riassuntiva.

Per aggiungere altri segmenti si opera in maniera analoga partendo dall’ultimo nodo definito, in modo da creare una serie di segmenti in successione, nei quali il nodo finale di un segmento

rappresenta il nodo iniziale del successivo. I singoli segmenti possono poi essere caratterizzati con un nome che li identifica, in funzione della loro posizione nella struttura della sezione trasversale.

Per controllare la geometria del pannello i singoli segmenti possono essere selezionati dal pannello di controllo: si osservi che ogni segmento è correlato al suo nodo finale – e quindi il primo nodo del pannello è correlato al segmento #0 (segmento fittizio)– .

Le coordinate di un nodo possono essere corrette anche se sono stati creati successivamente altri nodi, di conseguenza vengono modificati i due segmenti ad esso collegati. Un nodo, sia di estremità che intermedio, può anche essere cancellato: si ottiene la cancellazione del segmento che esso definiva oppure la fusione dei due segmenti che su di esso convergevano. Tale operazione si effettua con il comando “Delete object”.

La sessione di creazione del pannello si conclude tornando alla modalità di gestione dei pannelli e si riapre selezionando il pannello interessato dalla lista e attivando quindi la modalità di gestione dei nodi.

Come precedentemente detto la curva fra due nodi può essere definita in maniera diversa, scegliendo fra le possibili opzioni prima di generare il nodo finale del segmento. Tali opzioni sono correlate ai seguenti tipi di segmento:

- line: segmento con raggio di curvatura infinito,
- tangent circle: segmento con raggio di curvatura costante definito nella casella “R” (assume valori positivi o negativi) e tangenti estreme definite dalle coordinate “yTan” e “zTan” del punto di incontro delle due rette passanti per i due nodi di estremità,
- arc: segmento con raggio di curvatura costante definito nella casella “R”,
- corrugated: segmento rappresentante una lamiera corrugata con modulo di corrugazione costante definito attraverso il comando “Corrugated data...”.

Esiste poi un comando che permette di generare velocemente il pannello dello scafo esterno in presenza di un fondo piano, con o senza alzata di madiere, e di una murata piana, collegati da un ginocchio a curvatura costante. Tale comando, indicato con il nome di “Bilge Wizard...”, è presente nella tabella di destra e va richiamato in luogo del comando “Add object” per creare contemporaneamente i tre segmenti corrispondenti al fondo piano, al ginocchio e alla murata piana. Una volta attivato il comando, i tre segmenti indicati vengono creati a partire dall'ultimo nodo generato; a tale scopo si richiedono: le coordinate (y,z) del nodo finale della

murata (“End point coordinates”), il raggio di curvatura del ginocchio (“Circle radius”) e le coordinate (y,z) del punto di incontro fra il segmento del fondo e quello di murata (“Tangent intersection”).

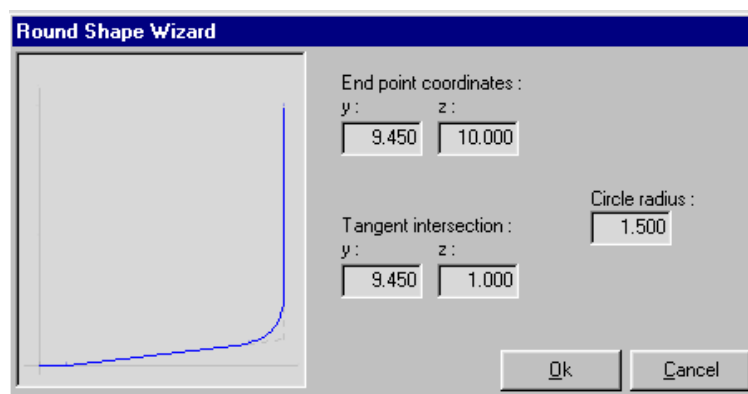


Figura 28 - Round Shape Wizard

Nel pannello di controllo e gestione dei segmenti –e dei nodi correlati– è presente la cartella “Intersection” che contiene una serie di strumenti che facilitano la creazione dei segmenti. Utilizzando i comandi qui inseriti, il nodo finale di un segmento può essere generato su un punto qualsiasi di un altro segmento oppure su un altro nodo. I comandi a disposizione sono i seguenti:

- “intersection with y entered and z computed”: crea il nodo finale del segmento su un punto qualsiasi di un segmento già presente, calcolando automaticamente la coordinata “z”; tale comando permette di generare un segmento perpendicolare ad un altro;
- “intersection with y computed and z entered”: crea il nodo finale del segmento su un punto qualsiasi di un segmento già presente, calcolando automaticamente la coordinata y; tale comando permette, in modo analogo, di generare un segmento perpendicolare ad un altro;
- “intersection with a node”: crea il nodo finale del segmento su un nodo già presente.

Quando, dopo aver attivato uno di questi comandi, si definisce il segmento o il nodo rispetto al quale si effettua l’operazione, la cartella “Intersection” si modifica indicando tale nodo o segmento di riferimento. Per esempio, con riferimento al primo caso (“intersection with y entered and z computed”), una volta selezionato il segmento di intersezione, la cartella si modifica nel modo seguente dalla configurazione (A) alla (B) e poi alla (C):

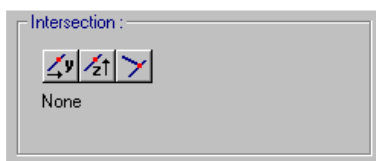


Figura 29 - Intersection (A)

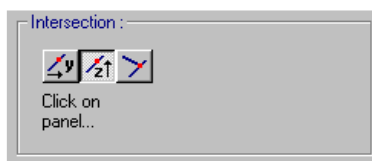


Figura 30 - Intersection (B)

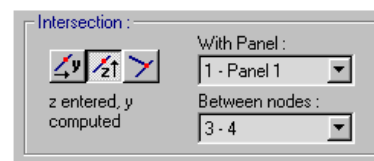


Figura 31 - Intersection (C)

Nel pannello di controllo e gestione dei segmenti e dei nodi correlati è anche presente la cartella “Tools...” che contiene un’altra serie di strumenti che facilitano la creazione dei segmenti.

Utilizzando i comandi qui elencati è possibile inserire dei nodi in punti particolari del pannello, oppure modificare la posizione di nodi già creati:

- “Make horizontal with previous node”, “Make horizontal with next node”: modifica la posizione di un nodo allineandolo orizzontalmente con il nodo precedente o con quello successivo;
- “Make vertical with previous node”, “Make vertical with next node”: modifica la posizione di un nodo allineandolo verticalmente con il nodo precedente o con quello successivo;
- “Align segment – Project node on segment”, “Align segment – Keep z value, compute y” e “Align segment – Keep y value, compute z”: modifica la posizione di un nodo allineandolo con i nodi adiacenti secondo le tre diverse opzioni che prevedono la proiezione lungo la normale oppure la proiezione lungo una direzione parallela a uno degli assi coordinati di riferimento;
- “Insert node”: crea un nodo su un punto qualsiasi di un segmento esistente, dividendo quest’ultimo in due segmenti;
- “Set position with mouse”: modifica la posizione di un nodo portandolo sulla posizione del puntatore del mouse: il puntatore si modifica in “+” mentre le sue coordinate sono visibili sulla pagina grafica in basso a sinistra.

Infine, l’opzione “Knuckle” indica al programma di trattare alla stregua di un rinforzo longitudinale lo spigolo formato fra due lamiere convergenti in un nodo.

Di seguito è riportata una schermata illustrativa della suddivisione in pannelli di una sezione: di ciascun pannello è indicato il numero identificativo e il verso, il pannello #1 è di colore diverso perché attivato.

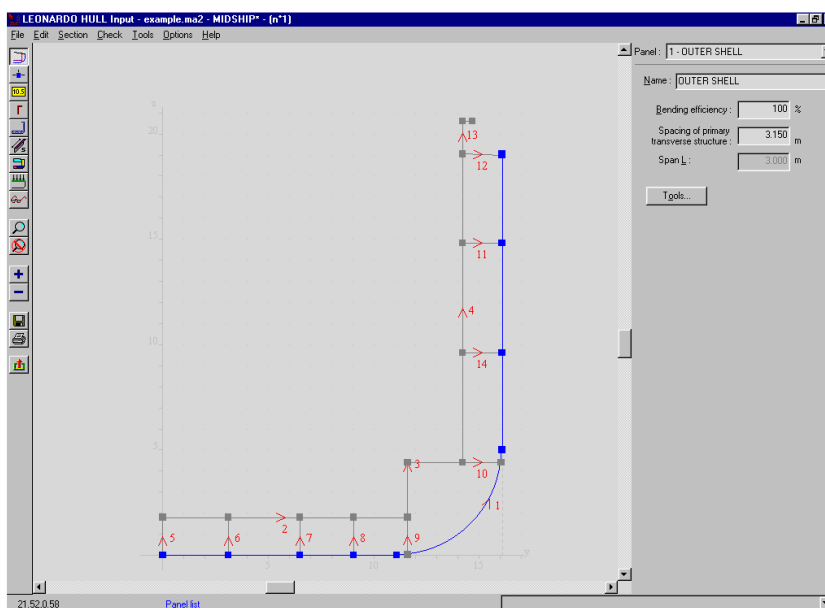


Figura 32 - Pannelli necessari alla definizione della sezione di esempio

10.5 La definizione dei fasciami: i corsi di lamiera

Le caratteristiche dimensionali del fasciame vengono definite attraverso la caratterizzazione dei corsi, in termini sia di larghezza (o altezza) che di spessore. È conveniente che i corsi di fasciame abbiano la larghezza massima compatibile con le potenzialità di lavorazione del cantiere, sì da ridurre il numero di saldature necessarie per l'assemblaggio del fasciame dello scafo. Tale larghezza deve essere comunque inferiore a quella massima consentita per il trasporto delle lamiere, pari a circa 3500 mm. Su tale base si opera la divisione del singolo pannello in corsi di fasciame, considerando che vincoli strutturali altrettanto importanti sono quelli che vietano di prevedere saldature troppo vicine sullo stesso elemento. Infatti, in corrispondenza della saldatura fra fasciami che si intersecano o in corrispondenza della saldatura sul fasciame di rinforzi ordinari non è lecito prevedere la saldatura fra due corsi (distanza minima di 100 ÷ 200 mm).

In aggiunta a quanto detto va considerato che alcuni corsi di fasciame devono avere, per le norme del Registro, una determinata larghezza minima. Ciò comporta un ulteriore vincolo nella definizione della larghezza dei fasciami.

La creazione del singolo corso di fasciame viene effettuata tramite la definizione delle sue estremità, identificate da due punti lungo la curva del pannello al quale il corso appartiene.

Per creare un corso di fasciame è necessario:

- I. attivare la modalità di gestione dei corsi;

- II. selezionare, attraverso la tabella riassuntiva dei dati che sta alla destra del foglio grafico, il pannello sul quale si intende operare (il pannello in esame viene evidenziato): il programma attribuisce automaticamente al pannello un unico corso;
- III. aggiungere un corso tramite il comando “Add object”, in questo modo il programma divide in due parti di lunghezza uguale l’unico corso esistente; la finestra “Strakes” mostra i corsi creati; si osservi che il pannello è una curva orientata e che quando si crea un nuovo corso il programma divide l’ultimo corso del pannello in due parti uguali, attivando la gestione del primo dei due.
- IV. modificare larghezza del corso attraverso il comando “Width” del pannello di controllo: essa può essere definita come lunghezza dell’ascissa curvilinea misurata lungo il pannello (“along the curve”), in direzione parallela all’asse y (“y offset”), oppure in direzione parallela all’asse z (“z offset”);
- V. definire lo spessore tramite il comando “Thickness”, il materiale tramite il comando “Material” ed eventuali fori presenti per esigenze di alleggerimento o di passaggio tramite i comandi “Hole location”, per definire la distanza fra l’inizio del foro e l’inizio del corso, e “Hole Breadth”, per definire la lunghezza del foro.

Procedendo nel modo sopra descritto dal punto (III) al punto (V) si creano i corsi voluti.

Nel pannello di controllo e gestione dei corsi è presente la cartella “Tools...” che contiene una serie di strumenti che facilitano la creazione dei corsi stessi. Utilizzando i comandi qui presenti è possibile definire con facilità la larghezza dei corsi rispettando prefissati vincoli:

- con il comando “Welding joint on node...” l’estremità finale del corso selezionato può essere spostata in corrispondenza di un nodo del pannello;
- con il comando “Duplicate strake” si genera un corso identico a quello selezionato, sia in termini di larghezza che di spessore, posto di seguito al primo;
- con il comando “Welding joint position...” si definisce l’estremità finale del corso alla voluta distanza da un nodo qualsiasi, distanza misurata dall’ascissa curvilinea oppure dalla sua proiezione su uno degli assi coordinati di riferimento.

Infine si osservi che è possibile inserire un corso fra corsi già definiti: è sufficiente selezionare il corso da modificare e richiamare il comando “Add object”.

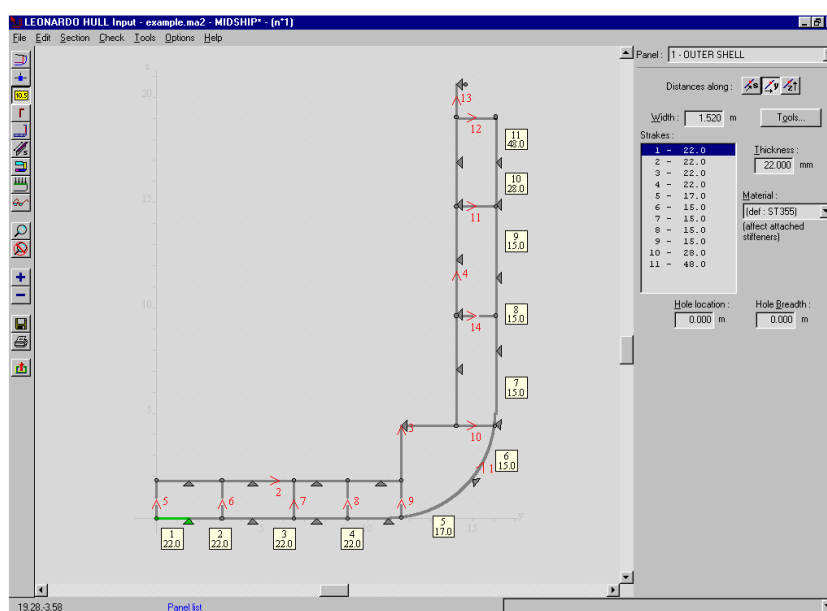


Figura 33 - Definizione dei corsi di fasciame

È qui riportata una schermata illustrativa della suddivisione in corsi di un pannello: di ciascun corso è indicato il numero identificativo e lo spessore, il corso #1 è di colore diverso perché attivato. Si osservi che la finestra “Strakes” mostra i corsi creati.



La definizione dei rinforzi longitudinali

I rinforzi longitudinali vengono definiti attraverso una serie di parametri che riguardano la posizione, l’orientazione e le caratteristiche dimensionali dei rinforzi stessi.

Come detto, il programma Leonardo è “panel-oriented”, perciò anche i rinforzi ordinari vengono definiti con riferimento alla geometria dei pannelli.

Per quanto riguarda la loro collocazione, è conveniente che i rinforzi vengano posizionati ad intervalli regolari. Essi vanno inoltre scelti riducendo il più possibile le variazioni dimensionali fra elementi contigui, riducendo perciò la varietà dei ferri necessari per irrobustire la zona strutturale. Rispettando tali indicazioni si cerca infatti di definire delle zone, le più vaste possibili, caratterizzate da rinforzi uguali e ugualmente spaziate. I rinforzi vengono poi gestiti dal programma sulla base dei gruppi omogenei così creati.

Ogni gruppo viene caratterizzato essenzialmente dall’intervallo costante, dalla collocazione dei ferri rispetto al fasciame e dalle caratteristiche geometriche della sua sezione trasversale. Tutti questi dati sono introdotti attraverso il pannello di controllo che appare sullo schermo quando si seleziona la modalità di gestione dei rinforzi ordinari longitudinali.

Per creare un gruppo di ferri longitudinali è necessario:

- I. attivare la modalità di gestione dei rinforzi longitudinali;
- II. selezionare, attraverso la tabella riassuntiva dei dati che sta alla destra del foglio grafico, il pannello sul quale si intende operare (il pannello in esame viene evidenziato);
- III. aggiungere un gruppo tramite il comando “Add object”; i gruppi creati vengono elencati nel pannello sulla destra del foglio grafico;
- IV. definire le caratteristiche del gruppo di rinforzi longitudinali.

Le caratteristiche del gruppo sono definite, utilizzando il pannello dei dati sulla destra dello schermo, introducendo, con il seguente ordine, i dati necessari per quanto riguarda:

- la zona del pannello sulla quale si stende il gruppo di rinforzi: il punto di partenza è misurato, con le stesse modalità viste per la definizione dei corsi di fasciame, rispetto a un nodo prescelto o ad un rinforzo precedentemente definito (“Start”, “Along”, “from...”); l'estremità finale del campo interessato dal gruppo è definita attraverso i due seguenti parametri: l'intervallo dei rinforzi (“Spacing”) e il numero dei rinforzi (“Number”);
- la collocazione dei rinforzi rispetto al fasciame: consiste nel definire l'angolo formato dal rinforzo con il fasciame (“Direction”), il lato di saldatura (“Side”) e l'orientazione della flangia per i rinforzi asimmetrici (“Flange direction”);
- il dimensionamento dei rinforzi (“Scantling”): si definiscono qui il tipo di sezione (“Type”) –il tipo “Null” serve per creare appoggi a eventuali nervature trasversali che si estendono per esempio sull'intera lunghezza di un pannello–, le dimensioni dell'anima (“Web”), prima altezza e poi spessore (si veda a riguardo la User's Guide – Booklet 2 – pag. 30) e le dimensioni della flangia (“Flange”), prima larghezza e poi spessore;
- le caratteristiche di resistenza dei rinforzi (“Special”): vanno definiti il materiale (“Material”), l'efficienza alla flessione (“Efficiency”), la campata effettiva (“Span reduction”) e la tipologia di connessione di estremità (“Stiffner connection”);
- le caratteristiche delle squadre di estremità (“Brackets”): si definiscono, sull'estremità alla quale sono presenti, immettendo i seguenti dati: lunghezza del lato della squadra sul rinforzo (“Length”), tipo di sezione della squadra (“Type”), dimensioni dell'anima

(“Web”), prima altezza e poi spessore (si veda a riguardo la User’s Guide – Booklet 2 – pag. 30), e dimensioni della flangia (“Flange”), prima larghezza e poi spessore.

Per la gestione dei gruppi di rinforzi si vedano i comandi comuni alle altre entità strutturali.

Di seguito è riportata una schermata illustrativa della situazione di un pannello quando su di esso è stato definito il piano dei rinforzi ordinari longitudinali: in corrispondenza di alcuni rinforzi è riportato il numero identificativo. Si osservi che alcuni sono evidenziati, tale operazione può essere fatta sul singolo ferro oppure per gruppo (per selezionare contemporaneamente più elementi mantenere premuto il tasto “Ctrl”).

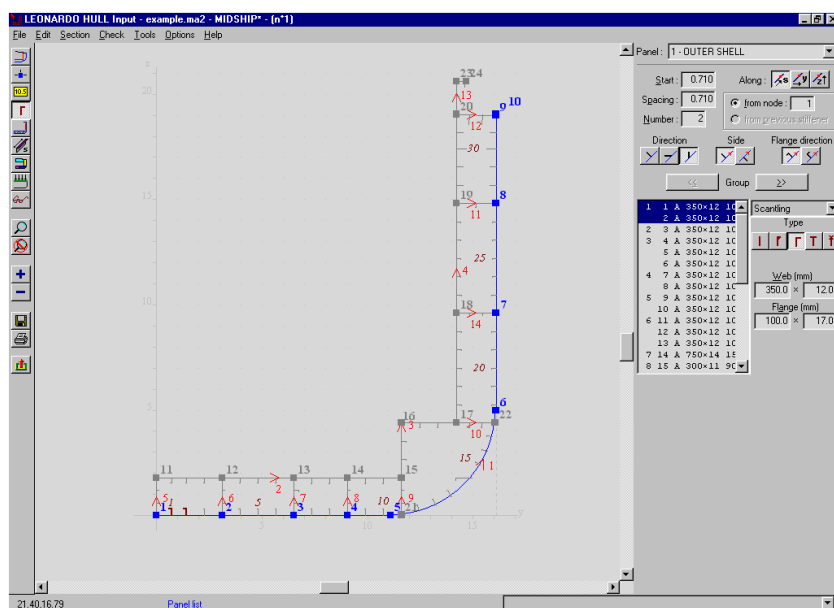


Figura 34 - Definizione dei rinforzi longitudinali

In alcune zone del pannello è possibile definire, per i rinforzi longitudinali e per il fasciame, una campata diversa da quella globale della struttura. A questo scopo si utilizza il comando “Special Span”, che richiede di indicare fra quali nodi o rinforzi longitudinali si intende definire la campata modificata (“Start”, “End”) e il valore di tale campata (“Local spacing of primary transverse structure”).

Leave blank to keep panel values :

Local spacing of primary transverse structure :

m Panel value : 3.15

Reduced span by subdivision of the plate (strokes only) :

m

Figura 35 - Special Span

In aggiunta a ciò, o in alternativa, è possibile ridurre la campata di calcolo dei soli pannelli (“Reduced span by subdivision of the plate”).



La definizione dei rinforzi trasversali

Come per i rinforzi longitudinali, anche quelli trasversali vengono definiti attraverso una serie di parametri che riguardano la posizione, l’orientazione e le caratteristiche dimensionali dei rinforzi stessi.

Come per quelli longitudinali, tali rinforzi vengono definiti con riferimento alla geometria dei pannelli.

I rinforzi trasversali vengono definiti singolarmente, indicando essenzialmente la spaziatura, ossia l’intervallo, in direzione longitudinale, i punti estremi sul fasciame e le caratteristiche geometriche della sezione trasversale. Tutti questi dati sono introdotti attraverso il pannello di controllo che appare sullo schermo quando si seleziona la modalità di gestione dei rinforzi ordinari trasversali.

Per creare un ferro trasversale è necessario:

- I. attivare la modalità di gestione dei rinforzi trasversali;
- II. selezionare, attraverso la tabella riassuntiva dei dati che sta alla destra del foglio grafico, il pannello sul quale si intende operare (il pannello in esame viene evidenziato);
- III. aggiungere un ferro tramite il comando “Add object”;
- IV. definire le caratteristiche del rinforzo trasversale.

Le caratteristiche del rinforzo sono definite con il seguente ordine:

- estremità del rinforzo lungo il pannello (“Location”): si utilizzano come riferimento i nodi o rinforzi longitudinali, eventualmente i rinforzi del tipo “Null” appositamente creati;
- intervallo fra i rinforzi in direzione longitudinale (“Spacing”);
- collocazione del rinforzo rispetto al fasciame (“Side”);
- dimensionamento dei rinforzi (“Scantling”): si definiscono qui il tipo di sezione (“Type”), le dimensioni dell’anima (“Web”), prima altezza e poi spessore (si veda a riguardo la User’s Guide – Booklet 2 – pag. 30), le dimensioni della flangia (“Flange”),

prima larghezza e poi spessore, il materiale (“Material”) e la tipologia di connessione di estremità (“Stiffner connection”);

- caratteristiche delle squadre di estremità (“Bracket at start”, “Bracket at end”): si definiscono la lunghezza del lato della squadra sul rinforzo (“Length”), il tipo di sezione della squadra (“Type”), le dimensioni dell’anima (“Web”), prima altezza e poi spessore (si veda a riguardo la User’s Guide – Booklet 2 – pag. 30), e le dimensioni della flangia (“Flange”), prima larghezza e poi spessore.

Per la gestione dei singoli rinforzi si vedano i comandi comuni alle altre entità strutturali.

Di seguito è riportata una schermata illustrativa della situazione di un pannello quando su di esso è stato definito un rinforzo ordinario trasversale: la presenza del rinforzo, in questo caso sul ginocchio a struttura trasversale, viene localmente evidenziata tramite una fascia colorata stesa lungo il pannello interessato.

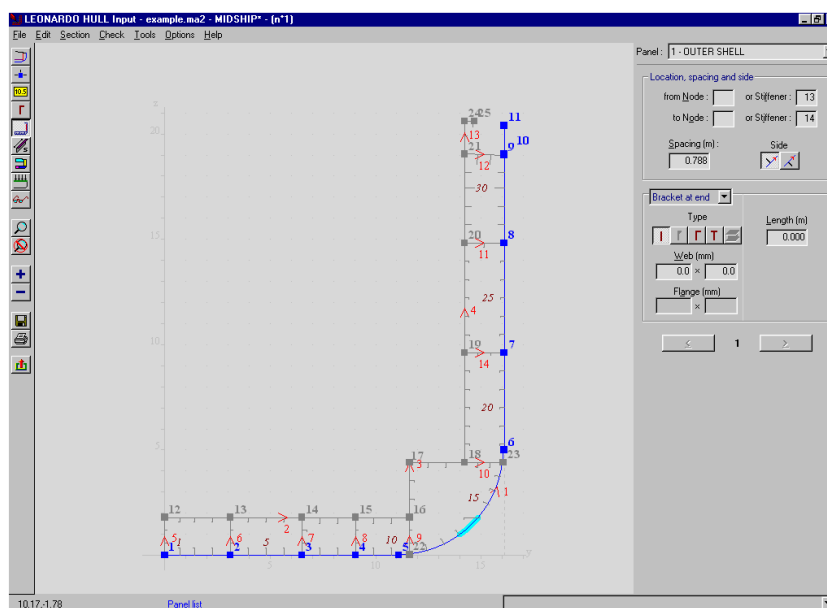


Figura 36 - Definizione rinforzi trasversali



La definizione dei carichi locali

La definizione dei carichi, ossia dei parametri necessari per la valutazione dei carichi standard di Registro, viene effettuata una volta che la sezione è completamente caratterizzata.

I carichi ai quali si fa riferimento sono quelli locali che maturano dall’interno dello scafo, infatti quelli esterni sono calcolati dal programma in maniera completamente automatica, sulla base della sola immersione della nave. Una volta definiti i parametri qui richiesti, il

programma valuta sia le pressioni statiche, sia quelle aggiuntive dinamiche che insorgono per effetto dei moti della nave.

Il programma distingue due tipi di carichi locali:

- i carichi che maturano sull'intera superficie di contenimento di un compartimento stagno per effetto di un carico alla rinfusa, sia liquido che solido;
- i carichi che insorgono sulle superfici dei ponti per effetto di un carico distribuito.

Nel primo caso si accede alla modalità di definizione dei carichi utilizzando il comando "Compartments", nel secondo caso utilizzando il comando "Deck Load".

La creazione di un compartimento, e quindi la caratterizzazione del relativo carico, viene effettuata con la seguente procedura:

- I. attivare la modalità di gestione dei carichi di compartimento;
- II. aggiungere un compartimento tramite il comando "Add object";
- III. definire le caratteristiche principali del compartimento, ossia il nome ("Name"), la destinazione principale ("Main destination") e la posizione ("Type");
- IV. definire il contorno del compartimento, utilizzando i nodi per identificare i tratti di pannelli che costituiscono, sulla sezione trasversale, il perimetro del compartimento stesso (quando il contorno è superiormente aperto il programma definisce automaticamente una linea orizzontale di chiusura utilizzando a tale scopo l'ultimo nodo della lista);
- V. definire le dimensioni complessive del compartimento tramite il comando "Compartment Dimensions": dimensioni estreme ("Length", "Breadth", "Height"), posizione longitudinale della paratia poppiera ("X start ...") e del baricentro ("Xg ..."), parametri per il calcolo dei carichi – accettare generalmente i valori proposti –;

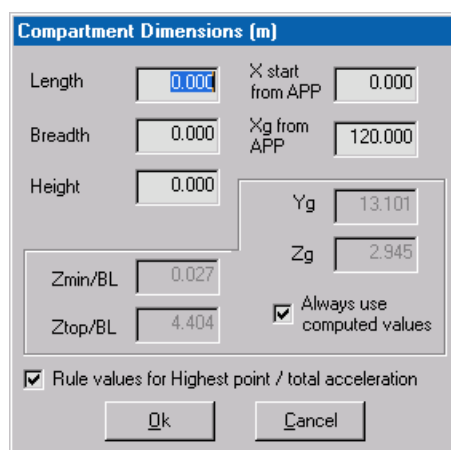


Figura 37 - Definizione della geometria di un compartimento

- VI. definire i tipi di caricazione tramite il comando “Loading Cases”: va qui indicata la modalità di carico (“Type”) assieme alle caratteristiche di caricazione per i carichi liquidi alla rinfusa –altezza del battente dalla linea di base (“Load test height”), massa specifica del liquido (“Density liquid”), altezza degli sfiati del compartimento dalla linea di base (“Air pipe deck”) e pressione di taratura delle valvole di sfogo (“Setting pressure”)– e per i carichi solidi alla rinfusa –peso totale nella stiva (“Load in hold”), densità all’ingombro (“Density bulk”) e angolo di naturale declivio (“Friction angle”)–;

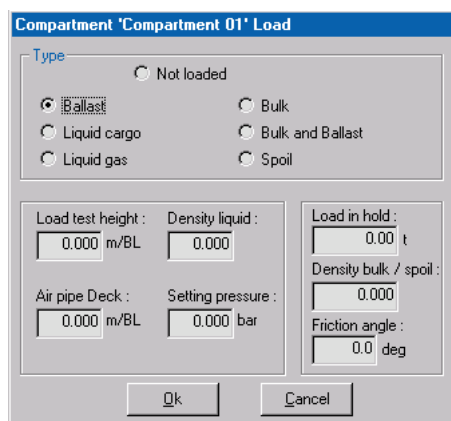


Figura 38 - Definizione della condizione di caricazione del compartimento

- VII. definire i parametri per il calcolo dei carichi aggiuntivi di sloshing tramite il comando “Resonance ”; sono qui richiesti i parametri per verificare che il movimento di sloshing sia in grado di provocare carichi aggiuntivi ritenuti pericolosi per la struttura di contenimento laterale, ed in particolare: la larghezza e la lunghezza della superficie libera oltre ai relativi livelli di riempimento.

Di seguito è riportata una schermata illustrativa della compartimentazione: le linee di spessore maggiore indicano che il pannello è anche contorno di compartimento, il

compartimento denominato “compartment 1” è stato selezionato e le sue caratteristiche compaiono nella tabella sulla destra dello schermo.

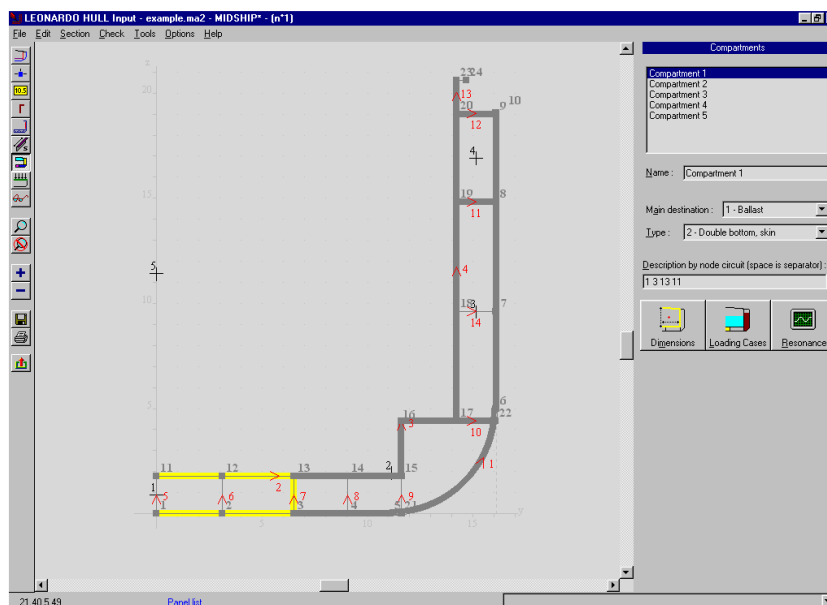


Figura 39 - Definizione dei compartimenti stagni

La creazione di un carico agente sul ponte viene effettuata con la seguente procedura:

- I. attivare la modalità di gestione dei carichi distribuiti sul ponte;
- II. aggiungere un carico tramite il comando “Add object”;
- III. definire le caratteristiche principali del carico, ossia il pannello sul quale tale carico agisce (“Panel”), i nodi entro i quali, sul pannello prima definito, si estende il carico distribuito (“Location”) e infine il tipo di carico –in funzione del tipo di carico vengono poi richiesti eventuali dati aggiuntivi; per la tipologia “cargo deck” la pressione e per la tipologia “Wheel load” la pressione e le caratteristiche di distribuzione–;

La schermata illustrativa del carico su ponte ha lo stesso aspetto di quella relativa al carico di compartimento.



La definizione dei parametri per la verifica a fatica

In questa sessione vengono definiti i particolari dell’intersezione dei rinforzi longitudinali con gli elementi strutturali trasversali. Sono infatti queste alcune tra le zone più critiche per il collasso a fatica.

Allo scopo di calcolare il fattore di concentrazione degli sforzi in tali punti critici, il programma richiede la geometria del dettaglio e quella del cordone di saldatura.

2.3.5 La subroutine "Rule"

In questa fase, utilizzando la subroutine "Rule", si effettua la verifica strutturale della sezione trasversale definita tramite la subroutine "Section", con riferimento prima alla robustezza globale e poi a quella locale.

La prima valutazione che viene effettuata sulla struttura della sezione trasversale è infatti quella legata alla verifica della robustezza longitudinale della nave. In pratica il programma valuta le caratteristiche di sollecitazione in corrispondenza della sezione in esame e calcola le proprietà geometriche della sezione stessa.

In questa fase viene anche controllata la rispondenza alle norme per quanto riguarda la robustezza longitudinale.

I valori ottenuti vengono presentati mettendo in evidenza sia la condizione delle strutture "a nave nuova", sia quella a nave "corrosa". La valutazione della corrosione, e quindi dello stato delle strutture a fine vita nave, viene fatta ipotizzando una riduzione standard degli spessori in funzione dell'aggressività dell'ambiente in cui l'elemento strutturale – lamiera o rinforzo – si viene a trovare.

I valori geometrici della sezione in esame vengono poi illustrati a confronto con quelli limite previsti dal Registro.

All'analisi della robustezza globale segue quella della robustezza locale. In questa fase di calcolo gli elementi strutturali facenti parte della sezione in esame vengono controllati per accertare se verificano i criteri del Registro.

Il procedimento di verifica basato sulle formulazioni di Registro fa riferimento ad un preciso schema di valutazione dei carichi distribuiti –sia interni che esterni– per calcolare le pressioni nette sui fasciami. Tale carico netto genera uno stato di tensione che si somma a quello trasmesso agli elementi dalla deformazione della nave. Lo stato di sollecitazione totale viene controllato prendendo in considerazione i possibili stati di collasso della struttura.

I calcoli relativi alla robustezza locale vengono effettuati con riferimento agli elementi strutturali elementari che costituiscono lo scafo:

- i rinforzi ordinari, completi di lamiera associata, sostenuti alle estremità dalle travi rinforzate che garantiscono un vincolo d'incastro perfetto;

- i pannelli “liberi” elementari del fasciame, intendendo con tale denominazione le più piccole superfici libere di lamiera sostenute da due rinforzi ordinari e due travi rinforzate che costituiscono un vincolo continuo d’incastro perfetto lungo i lati; tali pannelli vengono indicati dal programma come “Elementary Plate Panel” (EPP).

Una volta effettuati i calcoli il programma illustra, per ogni elemento strutturale – lamiera o rinforzo –, il dimensionamento minimo che scaturisce dei singoli criteri applicati. Tramite un pannello di controllo è infatti possibile controllare i valori di dimensionamento che rispondono ai diversi criteri previsti dalle norme ed è immediato poi confrontarli con il valore messo a calcolo.

Il controllo, prima globale e poi locale, è facilitato dalle potenzialità di post-processing del programma e permette di intervenire sul dimensionamento dei singoli elementi strutturali, apportando alla sezione quelle modifiche che permettano di effettuare un progetto rispettoso della normativa del RINA.

Il pannello di lavoro

La pagina di gestione dei calcoli ha un aspetto simile a quello della pagina di definizione della sezione, presenta infatti la barra del menù, una zona laterale contenente i tasti dei comandi più utilizzati, il foglio grafico per visualizzare la sezione per la fase di post-processing e una tabella laterale per il controllo analitico dei risultati.

I comandi per la gestione della subroutine “Rule” sono contenuti nella barra del menù e sono così suddivisi:

- nella cartella File si trovano i comandi per l’esecuzione dei calcoli, per la stampa dei dati su carta e per la stampa dei disegni su files del tipo “bmp”; in questa cartella è collocato il comando per la chiusura della sessione;
- nella cartella View sono contenuti i comandi per il controllo a schermo –sia grafico che analitico– dei risultati;
- nella cartella Check sono contenuti i comandi per il controllo grafico dei principali parametri strutturali definiti (come nella cartella corrispondente della subroutine “Section”);
- nella cartella Tools sono contenuti i comandi per la gestione dell’output grafico, per la gestione dei dati di input dei pannelli e degli EPP (“Debug ...”), per la gestione dei

risultati analitici (“View ...”) e infine per la creazione dei files utili alla rigenerazione del problema (“Export ...”);

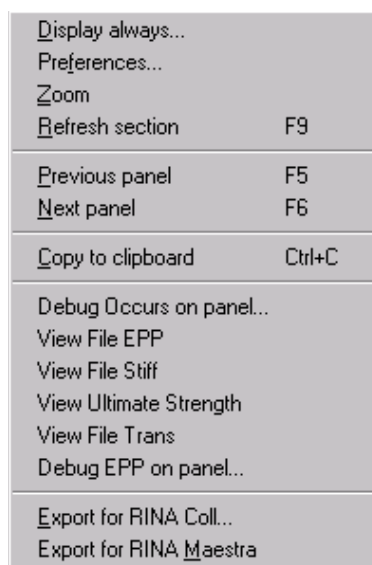


Figura 40 - Menù File della subroutine "Rule"

- nella cartella Options sono contenuti i comandi per la gestione di grafica e di stampa su carta.

Nelle pagine a seguire viene illustrata la procedura per l'impostazione dei calcoli.

Viene poi mostrato il procedimento di controllo correlato alla fase di post-processing, ossia di valutazione degli elementi critici, sia a livello globale che locale, e di modifica del relativo dimensionamento.



Il calcolo della robustezza della sezione trasversale

Il calcolo della robustezza della sezione in esame viene effettuato dal programma all'interno della subroutine “Rule”. Il nome richiama immediatamente il tipo di valutazioni strutturali che vengono impostate: quelle basate sui criteri di verifica del Registro. Per questo motivo è sempre buona regola controllare che la versione utilizzata sia quella che fa riferimento alle normative in vigore.

Il pannello per la definizione delle opzioni di calcolo, richiamato tramite il comando “Compute rule section”, presenta un'intestazione che indica la modalità con cui verranno effettuati i calcoli.

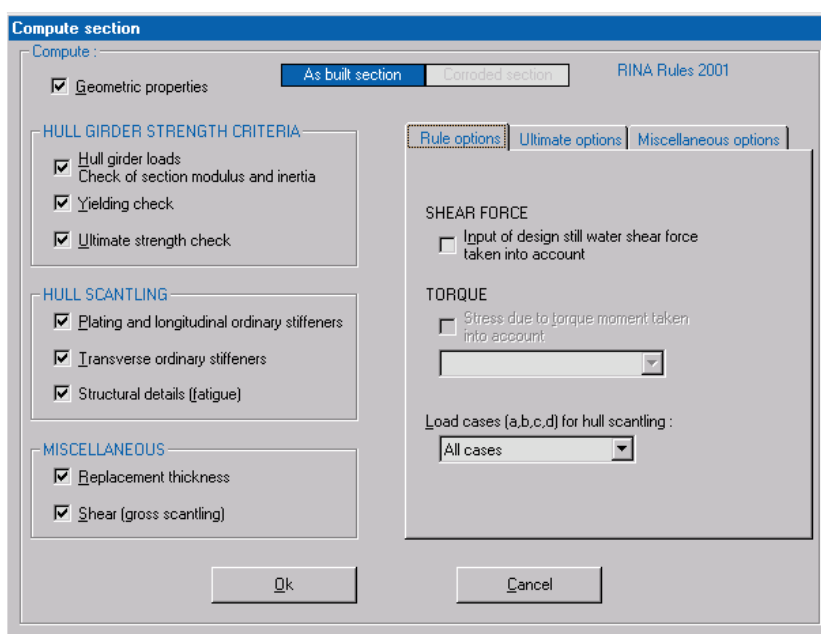


Figura 41 - La schermata Compute Section

Esistono infatti due possibili modalità di calcolo della sezione trasversale, quella relativa al progetto e quella corrispondente alla verifica delle strutture durante la vita della nave:

- nel primo caso le valutazioni di robustezza strutturale vengono effettuate come previsto dal Registro: a livello globale si fa riferimento agli spessori di progetto (“as built”), a livello locale si considera la struttura così come è previsto che si possa presentare a fine vita nave, ossia dopo aver subito gli effetti della corrosione. Quest’ultima condizione si ottiene riducendo gli spessori di una quantità standard e il dimensionamento viene detto “net scantling” perchè effettuato sugli spessori netti a fine vita nave.
- nel caso della verifica delle strutture durante la vita della nave si considera il tasso di corrosione voluto.

Per impostare il calcolo di progetto, la prima fra le due opzioni, è necessario che nella cartella “Ship state” (alla quale si accede dalla subroutine “Section”) sia stato definito lo state type “Project”. In questo caso la pagina per la definizione delle opzioni di calcolo strutturale presenta l’intestazione “As built section” e vicino è riportata la notazione riguardante la normativa di riferimento (“RINA Rules 2XXX”).

Tale pagina è suddivisa in due campi: a sinistra compare l’elenco dei tipi di calcolo che possono essere effettuati, a destra sono presenti tre cartelle per la definizione di alcune opzioni di calcolo. I calcoli che possono essere effettuati sono così elencati:

- Geometric properties – questa opzione riguarda il calcolo delle caratteristiche geometriche della sezione trasversale;
- Hull girder strength criteria – viene qui impostata la verifica della trave-nave, sia in termini di caratteristiche geometriche (“Check of section modulus and inertia”), sia con il calcolo delle tensioni primarie (“Yielding check”), sia ancora con riferimento alla resistenza ultima correlata alla formazione di cerniere plastiche (“Ultimate strength check”);
- Hull scantling – questi calcoli si riferiscono alla verifica della robustezza locale, sia facendo riferimento agli stati di collasso di snervamento e di instabilità per fasciami e per rinforzi (“Plating and longitudinal ordinary stiffeners” e “Transverse ordinary stiffeners”), sia chiamando in causa lo stato di collasso per fatica sui particolari strutturali (“Structural details (fatigue)”);
- Miscellaneous – sono qui riportati i comandi per la compilazione, sulla base dei calcoli di robustezza locale, delle cartelle che contengono i dati utili alla programmazione della sostituzione degli elementi strutturali che, per riduzione degli spessori durante la vita della nave, non sono più in grado di soddisfare alle normative (“Replacement thickness”); la cartella contiene anche il comando per la generazione del grafico delle tensioni primarie dovute al taglio e alla torsione (“Shear (gross scantling)”)

Le tre cartelle per la definizione delle opzioni sono così strutturate:

- nella cartella delle opzioni di calcolo “Miscellaneous options” viene specificato se utilizzare i momenti flettenti di registro o quelli eventualmente definiti per studiare casi particolari;
- nella cartella “Ultimate options” viene specificato quale metodo usare per il calcolo del momento flettente ultimo;
- nella cartella “Rules options” viene specificato se utilizzare il taglio verticale di registro o quello eventualmente definito come caso particolare e se tenere conto delle tensioni dovute al momento torcente; compare infine l’opzione per definire quali condizioni di carico di Registro debbano essere considerate per il calcolo.

Qualora i calcoli si riferiscano ad una fase preliminare di progetto in sintonia con le normative del RINA, è conveniente effettuare i calcoli con i valori delle caratteristiche di sollecitazione, i metodi di verifica e le condizioni di carico proposti dal regolamento.



La valutazione della robustezza longitudinale

I calcoli di robustezza longitudinale, limitati quindi alle proprietà geometriche della trave-nave e alle tensioni primarie, possono essere effettuati indipendentemente da quelli a carattere locale.

Per lanciare tali calcoli la tabella di gestione “Compute Section” deve essere compilata attivando le opzioni come di seguito illustrato:

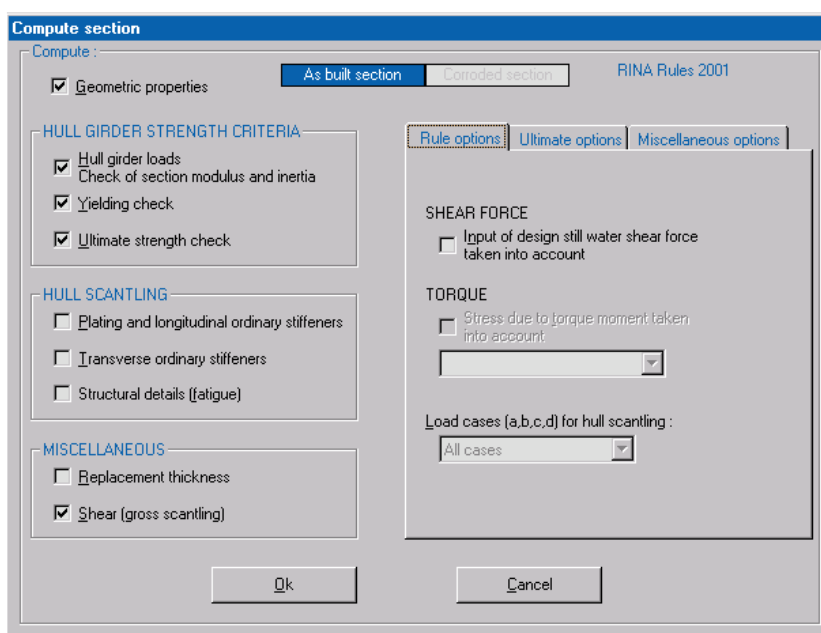


Figura 42 - Valutazione della robustezza longitudinale

Le pagine con i risultati vengono poi aperte utilizzando i tasti sopra riportati, tasti che si trovano sulla barra dei comandi alla sinistra del foglio grafico. Le varie cartelle di risultati sono di seguito descritte.



Geometric properties

Le caratteristiche geometriche sono calcolate considerando sia mezza sezione che tutta la sezione, per la condizione “net scantling” e per quella “gross scantling”. In particolare vengono valutati: l’area lorda, ossia quella geometrica; l’area netta, ossia quella ottenuta considerando l’efficacia longitudinale dei singoli elementi strutturali; i momenti d’inerzia rispetto agli assi principali d’inerzia; la posizione del baricentro; i moduli di resistenza al ponte, al fondo e alla massima distanza dall’asse neutro.



Hull girder strength criteria – Check of section modulus and inertia

Le caratteristiche geometriche della sezione sono confrontate con i valori minimi richiesti dal registro. Per completezza sono qui riassunte anche le caratteristiche di sollecitazione utilizzate per la verifica. In particolare vengono confrontati i moduli di resistenza richiesti con quelli realizzati “as built”, per completezza vengono anche mostrati quelli valutati nella condizione “net scantling”.

La normativa di riferimento (normativa IACS) prevede la verifica nella modalità “gross scantling” sui moduli di resistenza e sul momento d’inerzia verticale.



Hull girder strength criteria – Yielding check

Le tensioni primarie vengono valutate sugli elementi strutturali con riferimento allo stato di flessione verticale e limitatamente alle sole tensioni normali. Il valore calcolato (actual) viene confrontato con quello ammissibile (rule) sia per i fasciami che per i rinforzi longitudinali. Si osservi che il confronto viene fatto calcolando le tensioni sulla struttura “as built”, ovvero facendo riferimento alla condizione di gross scantling. Nella tabella è riportato, per i soli fasciami, anche il valore dello spessore di progetto.

La normativa di riferimento (normativa IACS) prevede la verifica a snervamento delle tensioni normali indotte dai momenti flettenti verticali sulla struttura “as built”.

Per tale motivo la tabella che mostra i risultati è compilata nel solo riquadro denominato “gross”, dove con “sig nor” si indicano le tensioni normali indotte dallo stato di flessione verticale composta, con “tau nor” si indicano le tensioni tangenziali indotte dallo stato di flessione verticale composta, con “sig comb” si indicano le tensioni normali indotte dagli stati di flessione verticale composta e di torsione e infine con “tau comb ” si indicano le tensioni tangenziali indotte dagli stati di flessione verticale composta e di torsione.



Hull girder strength criteria – Ultimate strength check

I valori dei momenti flettenti ultimi, correlati ad uno stato di collasso che chiama in causa la non linearità geometrica e quella di materiale, vengono qui calcolati.

La curva che illustra l’andamento della curvatura in funzione del momento flettente applicato è pure disponibile attraverso il comando “View / Plot hull girder ultimate strength”.

La normativa di riferimento per la Classificazione RINA prevede la verifica della capacità ultima a flessione della trave-nave, ma costituisce verifica obbligatoria solo per le navi che hanno una lunghezza di calcolo non inferiore a 150 m.



Shear (gross scantling)

Le tensioni primarie vengono valutate sugli elementi strutturali con riferimento allo stato di sollecitazione sia di flessione composta che di torsione. In questa sessione vengono proposte le tensioni risultanti in termini di tensioni tangenziali di taglio e di tensioni tangenziali e normali di torsione.

I valori di detti sforzi, calcolati per caratteristiche di sollecitazione standard, sono disponibili solo sui fasciami e in particolare con riferimento ai singoli corsi.

La normativa di riferimento (normativa IACS) prevede la verifica a snervamento sulle tensioni tangenziali indotte dal taglio, sia verticale che orizzontale, e dal torcente – queste ultime solo per navi con grandi aperture sul ponte di resistenza. Poichè la verifica è del tipo gross scantling, la tabella che mostra i risultati è compilata solo parzialmente.

Va osservato che i valori relativi al caso in esame, ossia per le caratteristiche di sollecitazione messe a calcolo, sono disponibili nella cartella dei risultati dei fasciami solo dopo avere rilanciato una seconda volta i calcoli – richiamando di nuovo la tabella dei comandi e compilandola in maniera identica a quanto fatto nel primo ciclo –.



Yielding check

Il comando “Ratio” permette di accedere ad una schermata che propone, tramite un codice di colori, lo stato dei singoli elementi strutturali longitudinali rispetto al dimensionamento richiesto dal Registro. A tale scopo viene calcolato, per ogni corso di fasciame e per ogni rinforzo longitudinale, il rapporto fra la tensione reale e quella ammissibile: se il dimensionamento non soddisfa alle verifiche, tale rapporto risulta maggiore dell’unità e l’elemento viene disegnato con il colore rosso. Quando invece il rapporto è minore dell’unità, la rappresentazione viene effettuata con ampia scala di colori per evidenziare le varie sicurezze di progetto dei singoli elementi.

Questo sistema di rappresentazione dei risultati permette di effettuare una veloce fase di post- processing perchè fornisce un’immediata indicazione dei punti critici della sezione.

La schermata di controllo, per permettere un'azione più efficace, può essere riferita ai rapporti ottenuti sulle tensioni normali indotte dal momento flettente oppure sulle tensioni tangenziali indotte dal taglio. Di conseguenza sono attivabili le seguenti opzioni:

- “sigma” per la valutazione della verifica a flessione,
- “tau” per la valutazione della verifica a taglio,
- “all” per la valutazione della verifica contemporanea a flessione e a taglio: i colori indicano perciò, per ogni elemento strutturale, il maggiore fra i due coefficienti calcolati.



La valutazione della robustezza locale

Le verifiche di robustezza locale sono effettuabili previa valutazione delle tensioni primarie sugli elementi strutturali longitudinali, per questo motivo tali calcoli non possono essere fatti indipendentemente da quelli a carattere globale.

Per lanciare tali calcoli la tabella di gestione “Compute Section” deve essere compilata attivando le opzioni come di seguito illustrato:

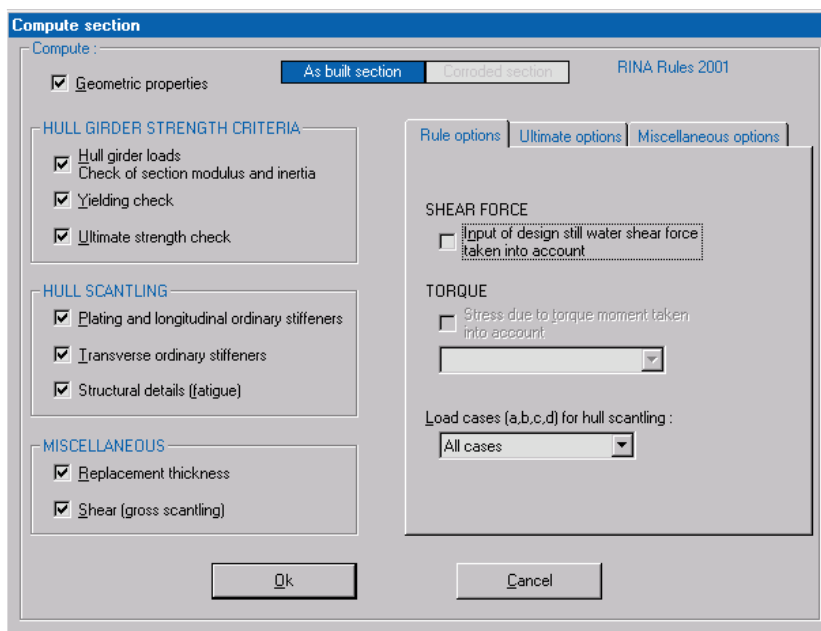


Figura 43 - Valutazione della robustezza locale

Le pagine con i risultati vengono poi aperte utilizzando i tasti sopra riportati, tasti che si trovano sulla barra dei comandi alla sinistra del foglio grafico. Le varie cartelle di risultati sono di seguito descritte.



Hull scantling – Plating and longitudinal ordinary stiffeners

Le tensioni per la verifica degli elementi strutturali sono valutate dal Registro come somma delle tensioni primarie e delle tensioni locali, non si fa infatti riferimento alla robustezza delle travi rinforzate – e quindi non si considerano le conseguenti tensioni secondarie che la deformazione delle stesse produce. Per la verifica delle travi rinforzate infatti il RINA rimanda a calcoli diretti analitici o numerici.

La normativa di riferimento prevede che la verifica locale sia effettuata per la condizione di “net scantling”, perciò in seguito al calcolo locale il pannello dei risultati compila anche la tabella riportata nel riquadro “net”.

I criteri di verifica adottati dal programma in base alle norme sono quelli di collasso per snervamento e di collasso per instabilità.

In base al criterio di snervamento viene calcolato il valore dello spessore minimo per il singolo corso di fasciame e, all'interno di ogni corso, per il singolo pannello elementare (EPP). Il valore calcolato (actual) viene poi confrontato con quello ammissibile (rule), riportando la notazione aggiuntiva che illustra quale stato di carico, fra quelli previsti dalle normative, ha comportato il massimo stato tensionale.

I risultati della verifica a snervamento vengono illustrati confrontando lo spessore calcolato – ossia quello richiesto dal Registro – con il valore reale dello spessore – ossia quello offerto –.

Per quanto riguarda la valutazione dei singoli EPP il pannello propone i seguenti risultati:

- “thickness load – rule” – indica lo spessore netto minimo che deve possedere il singolo EPP per soddisfare alle previste condizioni di carico;
- “thickness mini – rule” – indica lo spessore minimo richiesto al singolo EPP (si vedano a riguardo i “minimi di spessore” nei regolamenti);

mentre “thickness load/mini – actual” indicano lo spessore di progetto per il corso di fasciame in esame.

Per quanto riguarda poi la valutazione complessiva dei corsi di fasciame, il programma propone i seguenti risultati:

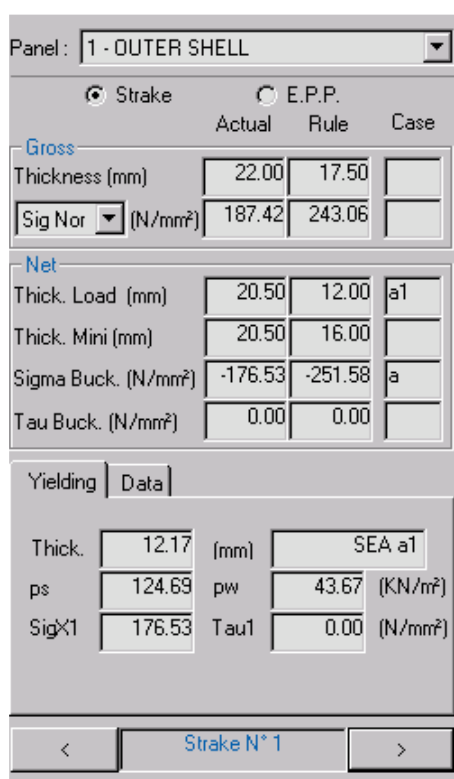
- “thickness load – rule” – indica lo spessore netto minimo che deve possedere il corso per soddisfare alle previste condizioni di carico, ossia il massimo valore fra quelli ottenuti per gli EPP del corso; si osservi che quando un pannello elementare

appartiene a due corsi adiacenti, i risultati del calcolo su tale EPP sono considerati per il dimensionamento di entrambi i corsi;

- “thickness mini – rule” – indica lo spessore minimo richiesto al corso di fasciame, ossia il massimo valore fra quelli valutati per gli EPP del corso (si vedano a riguardo i “minimi di spessore” nei regolamenti).

mentre “thickness load/mini – actual ” indicano lo spessore di progetto per il corso di fasciame in esame.

La tabella che presenta i risultati ha il seguente aspetto:



Panel: 1 - OUTER SHELL				
		Actual	Rule	Case
Gross				
Thickness (mm)		22.00	17.50	
Sig Nor (N/mm²)		187.42	243.06	
Net				
Thick. Load (mm)		20.50	12.00	a1
Thick. Mini (mm)		20.50	16.00	
Sigma Buck. (N/mm²)		-176.53	-251.58	a
Tau Buck. (N/mm²)		0.00	0.00	
Yielding Data				
Thick.	12.17 (mm)	SEA a1		
ps	124.69	pw	43.67 (KN/m²)	
SigX1	176.53	Tau1	0.00 (N/mm²)	

< Strake N° 1 >

Figura 44 - Tabella riassuntiva dei risultati

In base al criterio di instabilità geometrica viene poi calcolato il valore della tensione critica per il singolo corso di fasciame e, per ogni corso, per il singolo pannello elementare (EPP). Il valore così calcolato (rule) viene poi confrontato con quello reale (actual), riportando anche la notazione aggiuntiva che illustra quale stato di carico, fra quelli previsti dalle normative, ha comportato il massimo stato tensionale.

I risultati della verifica a buckling vengono illustrati confrontando le tensioni critiche calcolate con le tensioni massime di compressione o di taglio; le tensioni reali si valutano considerando le diverse condizioni di carico previste dal registro.

Per quanto riguarda la valutazione dei singoli EPP il pannello propone i seguenti risultati:

- “sigma buckling – actual” – indica la tensione massima di compressione e flessione monoassiale valutata sul singolo EPP;
- “tau buckling – actual” – indica la tensione massima di taglio calcolata sul singolo EPP;
- “sigma buckling – rule” – indica la tensione critica di compressione e flessione monoassiale calcolata sul singolo EPP;
- “tau buckling – rule” – indica la tensione critica di taglio calcolata sul singolo EPP.

Per quanto riguarda poi la valutazione complessiva dei corsi di fasciame, il programma propone, per ognuno dei due regimi di instabilità:

- sulla colonna “actual” il valore della tensione di compressione corrispondente al peggior valore del rapporto fra tensione critica e tensione reale calcolato a livello di EPP –ovvero il valore più piccolo fra quelli calcolati–;
- sulla colonna “rule” il valore della relativa tensione critica.

Nella parte inferiore del pannello dei risultati compaiono due pagine identificate dall’etichetta “Yieldind” e “Data”.

Nella prima (“Yielding”) vengono elencati i dati relativi alla configurazione di carico che, per il corso di fasciame selezionato, è risultata essere la più vincolante per il progetto. In particolare, se si stanno analizzando i risultati relativi agli EPP il riquadro porta le informazioni relative al carico più gravoso e il corrispondente spessore (“thickness”) prima di essere arrotondato al mezzo millimetro. Quando si stanno analizzando i risultati complessivi di un corso di fasciame i dati del riquadro si riferiscono alla condizione più vincolante fra tutte quelle relative agli EPP del corso in esame.

I dati relativi alla condizione di carico sono così riassunti: pressione esterna in acqua tranquilla (“ps”), pressione esterna aggiuntiva d’onda (“pw”), tensione normale primaria (“sigX1”), tensione tangenziale primaria (“tau1”). Per gli EPP compaiono anche la larghezza (“spacing”) e la lunghezza (“span”) del pannello. La sigla in alto a sinistra si riferisce infine alla tipologia del carico causa del maggiore spessore (si veda a riguardo la User’s Guide – Booklet 3 – pag. 14).

Nella seconda (“Data”) compaiono l’efficienza alla flessione ed il materiale.

In conclusione va osservato che la prima riga del riquadro “gross” viene completata con l’indicazione dello spessore minimo richiesto dal Registro (trascurando però il risultato della verifica a buckling).



Hull scantling – Plating and longitudinal ordinary stiffeners

La tabella per la verifica dei rinforzi longitudinali è strutturata in maniera analoga a quella appena definita per i fasciami, ma con alcune differenze: il parametro di progetto dei rinforzi come noto è infatti il modulo di resistenza valutato con lamiera associata.

La normativa di riferimento prevede che la verifica locale sia effettuata per la condizione di “net scantling”, perciò in seguito al calcolo locale il pannello dei risultati è compilato in ogni sua parte, ossia anche nella tabella denominata “net”.

I criteri di verifica adottati dal programma in base alle norme sono quelli di collasso per snervamento e di collasso per instabilità.

In base al criterio di snervamento viene calcolato il valore del modulo di resistenza con lamiera associata. Il valore calcolato (actual) viene poi confrontato con quello ammissibile (rule), riportando la notazione aggiuntiva che illustra quale stato di carico fra quelli previsti dalle normative ha comportato il massimo stato tensionale.

La tabella che presenta i risultati ha il seguente aspetto:

Panel: 1 - OUTER SHELL			
	Actual	Rule	Case
Gross			
Modulus	982.61	770.65	
Sig Nor (N/mm²)	187.42	243.06	
Net			
Modulus	857.39	672.44	a1
Sigma Buck.	-176.53	-276.00	a
Ult. Strength	186.84	279.15	a2
Fat Modulus			
Modulus Shear A. Ult. Str. Data			
Bending eff. (%)	100	Material	ST355
Type: angle		Gross	Net
Web Thickness (mm)	12.00	10.00	
Flange Thickness (mm)	17.00	15.00	
Ass. Plating Thick. (mm)	22.00	20.50	
< Groupe N° 1 Stiff N° 1 >			

Figura 45 - Tabella riassuntiva dei risultati

Nel riquadro “net” compaiono ora i seguenti risultati:

- “modulus” – indica il modulo di resistenza minimo offerto (“actual”) e quello minimo richiesto dalle normative e calcolato considerando i diversi casi di carico previsti dalle stesse;
- “shear area” – indica l’area resistente a taglio offerta (“actual”) e quella minima richiesta dalle normative e calcolata considerando i diversi casi di carico previsti dalle stesse;
- “thickness minimum” – indica lo spessore minimo previsto per il rinforzo sulla flangia e sull’anima (“actual”), e il “minimo di spessore” definito dalle normative;
- “sigma buckling” – indica il valore della tensione di instabilizzazione –tensione di compressione e flessione monoassiale o di torsione– valutata sul rinforzo (“actual”), calcolata considerando i diversi casi di carico previsti dalle normative e corrispondente al peggior valore del rapporto fra tensione critica e tensione di instabilità, indica poi la tensione critica corrispondente (“rule”);
- “ultimate strength” – indica il valore della tensione di compressione correlata alla capacità ultima (“actual”), calcolata considerando i diversi casi di carico previsti dalle

normative e corrispondente al peggior valore del rapporto fra tensione ultima e tensione reale, indica poi la tensione “ultima” corrispondente;

- “fatigue modulus” – indica il modulo di resistenza minimo offerto (“actual”) e quello minimo richiesto dalle normative, calcolati con riferimento al collasso a fatica nella zona terminale d’incastro;
- “fatigue life” – indica la vita prevista a fatica per il rinforzo reale (“actual”) e per quello avente il modulo di resistenza proposto dal registro.

Nella parte inferiore del pannello dei risultati compaiono le pagine identificate dalle etichette “Modulus”, “Shear area”, “Ultimate strength” e “Data”.

Nella pagina “Modulus” vengono elencati i dati relativi alla configurazione di carico che, per il rinforzo selezionato, è risultata essere la più vincolante per il progetto ai fini della determinazione del modulo di resistenza in campo lineare. In particolare il riquadro porta le informazioni relative al carico più gravoso e il corrispondente modulo di resistenza minimo (“W”). I dati relativi alla condizione di carico sono così riassunti: pressione esterna in acqua tranquilla (“ps”), pressione esterna aggiuntiva d’onda (“pw”), tensione normale primaria (“sigX1”), intervallo lordo fra correnti (“spacing”) e la lunghezza del corrente (“span”). La sigla in alto a sinistra si riferisce infine alla tipologia del carico causa del maggiore modulo di resistenza (si veda a riguardo la User’s Guide – Booklet 3 – pag. 14).

Nella seconda pagina (“Shear area”) vengono elencati i dati relativi alla configurazione di carico che, per il rinforzo selezionato, è risultata essere la più vincolante per il progetto ai fini della determinazione dell’area resistente a taglio. I dati sono riportati in maniera analoga a quanto fatto per la prima pagina.

Nella terza pagina (“Ultimate strength”) vengono elencati i dati relativi alla configurazione di carico che, per il rinforzo selezionato, è risultata essere la più vincolante per il progetto ai fini della determinazione del modulo di resistenza in campo non lineare (capacità ultima). I dati sono riportati in maniera analoga a quanto fatto per la prima pagina, va notato che la tensione normale primaria (“sigX1”) è quella riferita al momento ultimo di trave–nave.

Nella pagina “Data” compaiono l’efficienza alla flessione, il materiale e gli spessori del rinforzo.

In conclusione va osservato che la prima riga del riquadro “gross” viene completata con l’indicazione del modulo di resistenza minimo richiesto dal Registro Registro (trascurando però il risultato della verifica a buckling).



Hull scantling – Transverse ordinary stiffeners

La tabella per la verifica dei rinforzi trasversali è strutturata in maniera analoga a quella appena definita per i rinforzi longitudinali.

Si rammenta che le tensioni reali sono ridotte alle sole tensioni legate ai carichi locali, non insorgono infatti tensioni legate alla deformazione di trave-nave. Le norme si limitano a prescrivere il criterio di verifica relativo al collasso per snervamento. Nel riquadro “net” compaiono ora i seguenti risultati:

- “modulus” – indica il modulo di resistenza minimo offerto (“actual”) e quello minimo richiesto dalle normative e calcolato considerando i diversi casi di carico previsti dalle stesse;
- “shear area” – indica l’area resistente a taglio offerta (“actual”) e quella minima richiesta dalle normative e calcolata considerando i diversi casi di carico previsti dalle stesse;
- “thickness minimum” indica lo spessore minimo previsto per il rinforzo sulla flangia e sull’anima (“actual”), e il “minimo di spessore” definito dalle normative.

La tabella che presenta i risultati ha il seguente aspetto:

Panel: 1 - OUTER SHELL			
	Actual	Rule	Case
Gross			
Modulus	168.13	57.80	
Net			
Modulus	140.95	48.46	c+
Shear Area	142.14	4.45	c+
Thick Mini	10.00	4.33	
Modulus Shear Area Data			
W	48.46	SEA c+	
ps	111.04	pw	55.44 (KN/m²)
Max			
Spac	0.788	Span	1.311 (m)
<< Stiff N° 1 >>			

Figura 46 - Tabella riassuntiva dei risultati

Nella parte inferiore del pannello dei risultati compaiono le pagine identificate dall'etichetta "Modulus", "Shear area" e "Data". Queste pagine hanno la stessa struttura di quelle viste nel caso dei rinforzi longitudinali, anche i dati che contengono sono gli stessi. La sola differenza è costituita dall'indicazione ("max") della zona del rinforzo in cui si verifica la tensione nominale massima sia normale che tangenziale (all'estremità iniziale, al mezzo o all'estremità finale).

In conclusione va osservato che la prima riga del riquadro "gross" viene completata con l'indicazione del modulo di resistenza minimo richiesto dal Registro.



Rules check

Il comando "Ratio" permette di accedere ad una schermata che propone, tramite un codice di colori, lo stato dei singoli elementi strutturali longitudinali rispetto al dimensionamento richiesto dal Registro. A tale scopo viene calcolato, per ogni corso di fasciame e per ogni rinforzo longitudinale, il rapporto fra la tensione reale e quella ammissibile: se il dimensionamento non soddisfa alle verifiche, tale rapporto risulta maggiore dell'unità e l'elemento viene disegnato con il colore rosso. Quando invece il rapporto è minore dell'unità, la rappresentazione viene effettuata con ampia scala di colori per evidenziare le varie sicurezze di progetto dei singoli elementi.

Questo sistema di rappresentazione dei risultati permette di effettuare una veloce fase di post-processing perchè fornisce un'immediata indicazione dei punti critici della sezione.

La schermata di controllo, per permettere un'azione più efficace, può essere riferita ai rapporti relativi ai singoli criteri di verifica.

Per i fasciami sono attivabili le seguenti opzioni:

- "thickness load" per la valutazione della verifica a snervamento,
- "thickness minimum" per la valutazione del rispetto dei minimi di spessore,
- "buckling – normal stress" per la valutazione della verifica ad instabilità per quanto riguarda lo stato di compressione e flessione (tensioni normali),
- "buckling – shear stress" per la valutazione della verifica ad instabilità per quanto riguarda il taglio (tensioni tangenziali),

- “all” per la valutazione della verifica contemporanea dei criteri sopra descritti: i colori indicano perciò, per ogni elemento strutturale, il maggiore fra i coefficienti calcolati, ossia quello che corrisponde al criterio più restrittivo.

Per i rinforzi longitudinali sono attivabili le seguenti opzioni:

- “net modulus” per la valutazione della verifica a flessione (sforzi normali),
- “net shear area” per la valutazione della verifica a taglio (sforzi tangenziali),
- “buckling – normal stress” per la valutazione della verifica ad instabilità per quanto riguarda lo stato di compressione e flessione (tensioni normali),
- “ultimate strength” per la valutazione della verifica a flessione ultima,
- “thickness minimum” per la valutazione del rispetto dei minimi di spessore,
- “fatigue ” per la valutazione della verifica a fatica,
- “all” per la valutazione della verifica contemporanea dei criteri sopra descritti: i colori indicano perciò, per ogni elemento strutturale, il maggiore fra i coefficienti calcolati, ossia quello che corrisponde al criterio più restrittivo.

Per i rinforzi trasversali sono attivabili le seguenti opzioni:

- “net modulus” per la valutazione della verifica a flessione (sforzi normali),
- “net shear area” per la valutazione della verifica a taglio (sforzi tangenziali), •
- “thickness minimum” per la valutazione del rispetto dei minimi di spessore,
- “all” per la valutazione della verifica contemporanea dei criteri sopra descritti: i colori indicano perciò, per ogni elemento strutturale, il maggiore fra i coefficienti calcolati, ossia quello che corrisponde al criterio più restrittivo.



Replacement thickness

Il comando “Renewal” permette di richiamare a schermo una tabella che, per ogni elemento strutturale, riassume i dimensionamenti scaturiti dai diversi criteri di verifica. Tale tabella espone inoltre i dati necessari per la programmazione della sostituzione degli elementi strutturali durante la vita della nave (con riferimento ad un tasso standard di corrosione). Tale opzione di post-processing risulta quindi utile per la programmazione delle sostituzioni quando il calcolo viene impostato nella modalità “Corroded Section”.

Nella tabella vengono riportati infatti lo spessore di progetto, ossia quello dell’elemento “as built” (“actual”), e lo spessore minimo che deve possedere l’elemento al momento del rilievo

per poter soddisfare le normative (“renewal”). In altri termini quando viene rilevato che lo spessore è minore di quello indicato come “renewal”, l’elemento deve essere sostituito – si osservi che esiste una tolleranza fra valori minimi e valori di sostituzione –.

La tabella riporta, come detto, anche un riquadro che richiama gli spessori minimi calcolati in base ai diversi criteri di verifica imposti dalle normative. Questi valori, qui indicati al netto dell’arrotondamento, permettono di valutare in maniera diretta, ossia proprio in termini di spessori, i risultati dei singoli criteri di verifica.

I dati che interessano il progetto dei fasciami sono i seguenti:

- “thickness actual” – spessore di progetto,
- “thickness minimum” – minimo di spessore,
- “thickness yielding” – spessore minimo calcolato per snervamento,
- “thickness buckling compression” – spessore minimo calcolato per instabilità a compressione,
- “thickness buckling shear” – spessore minimo calcolato per instabilità a taglio,
- “corrosion margin” – margine di corrosione,
- “thickness net” – spessore netto calcolato sullo spessore di progetto.

I dati relativi ai rinforzi sono incompleti e non appaiono utili ai fini del progetto.

Per impostare un procedimento di progetto razionale si consiglia di intervenire innanzitutto sui fasciami, giungendo al loro definitivo dimensionamento, e di passare in un secondo momento alla verifica dei rinforzi ordinari. Questi infatti vanno dimensionati sulla base del modulo di resistenza, calcolato per ognuno di essi sull’elemento funzionale definito dal rinforzo stesso e dalla lamiera associata. Di conseguenza la scelta definitiva degli spessori dei fasciami apre la via al dimensionamento dei rinforzi.

Nell’ambito poi della verifica dei diversi criteri di collasso, si consiglia di soddisfare per primo il criterio di snervamento e solo in seconda battuta quello relativo all’instabilità, sia per i fasciami che per i rinforzi.

Per quanto riguarda gli incrementi degli spessori delle lamiere, è conveniente procedere nel modo seguente: nell’ambito della verifica a snervamento modificare come richiesto dal programma; nell’ambito della verifica a buckling modificare con un passo di 0,5 mm. Per i

ferri è opportuno invece fare riferimento ad un profilatario per impostare i moduli di resistenza opportuni.

Va osservato che i rinforzi non vanno trattati tutti in ugual modo, infatti quelli che hanno una funzione locale –in genere di inibizione dell’instabilità delle anime e delle flange delle travi rinforzate– possono essere dimensionati come nella nave modello. I rinforzi trasversali vanno invece dimensionati con solo riferimento alla robustezza locale, con un procedimento che non richiede calcoli iterativi.

In conclusione va detto che è bene effettuare una verifica a livello globale sia all’inizio che alla fine del procedimento di verifica locale.

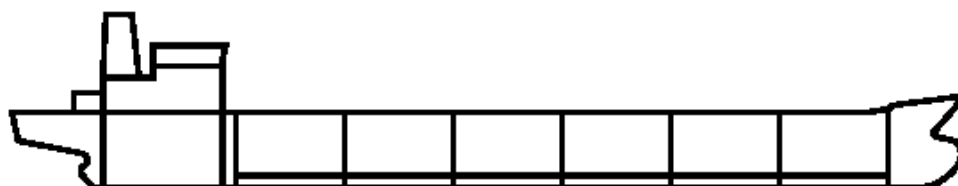
Si trascurino qui le modifiche per uniformità, sia dei fasciami che dei rinforzi, e le verifiche delle travi rinforzate, per le quali si rimanda ad altro calcolo.

ESEMPIO DI APPLICAZIONE DI UN CAE

1. DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA STRUTTURALE

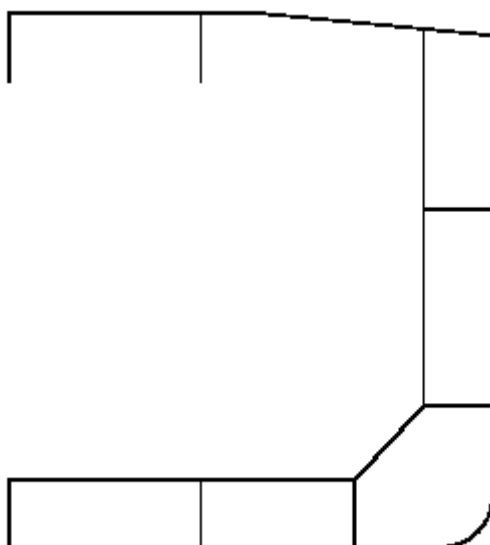
La nave che sarà oggetto delle seguenti esercitazioni è una cisterna classificata dal R.I.N.A. Oil Tanker ESP C✱ per navigazione illimitata. La nave è dotata di una sola elica e le sovrastrutture e lo stesso apparato motore sono posizionati a poppa del corpo stive, composto da 6 cisterne di eguale lunghezza, all'interno delle quali possono essere trasportati greggio o altri prodotti petroliferi a pressione atmosferica e a temperatura ambiente oppure riscaldati aventi qualsiasi grado di infiammabilità. Al fine di soddisfare l'Appendice 1 della MARPOL 73/78, le cisterne sono a doppio fondo e a doppia paratia; non sono, tuttavia, presenti paratie stagne centrali o di sbattimento trasversali o longitudinali. Visto il tipo di nave e l'utilizzo che l'armatore vuole farne si è optato per una struttura interamente di tipo longitudinale, con paratie stagne trasversali a superficie semplice con travi rinforzate verticali.

Di seguito sono riportate le dimensioni principali della nave e della sezione maestra:



Caratteristiche principali dello scafo

Lunghezza tra le perpendicolari	L_{pp}	121.80 m
Lunghezza al galleggiamento	L_{wl}	125.30 m
Lunghezza fuori tutto	L_{oa}	130.80 m
Larghezza fuori ossatura	B	18.90 m
Altezza di costruzione	D	10.00 m
Immersione di progetto	T	6.60 m
Volume fuori ossatura a T	∇_T	11673.00 m ³
Coefficiente di finezza	c_B	0.77
Velocità di servizio	v_s	17.50 kn



Caratteristiche geometriche della sezione maestra

Altezza di bolzone a B/4 dalla murata	450	m
Raggio di curvatura del ginocchio	1000	m
Altezza doppio fondo	1300	m
Larghezza doppia murata	1350	m
Inclinazione cassa bassa	~ 45°	
Larghezza della platea	13500	m

Per determinare il piano delle ossature si è consultato il seguente piano di capacità con le distanze riferite alla perpendicolare addietro:

	0.000	
		Gavone di poppa
	6.400	
Corpo poppiero		L. A. M.
	22.350	
		Intercapedine
	25.350	
		Stiva 6
	40.350	
		Stiva 5
	55.350	
		Stiva 4
Corpo delle stive	70.350	
		Stiva 3
	85.350	
		Stiva 2
	100.350	
		Stiva 1
	115.350	
Corpo prodiero		Gavone di prora
	121.800	

Si è scelto come piano delle ossature quello raccolto nella seguente tabella, costruita riferendo tutte le ascisse alla perpendicolare addietro.

Piano delle ossature dalla perpendicolare addietro

Numero ossatura	x [m]	Spacing [m]	Numero ossatura	x [m]	Spacing [m]	Numero ossatura	x [m]	Spacing [m]
-8	-4.650	0.645	32	22.350	0.750	75	54.600	0.750
-7	-4.005		33	23.100		76	55.350	
-6	-3.360		34	23.850		77	56.100	
-6	-3.360	0.610	35	24.600	0.750	78	56.850	0.750
-5	-2.750		36	25.350		79	57.600	
-4	-2.140		37	26.100		80	58.350	
-3	-1.530		38	26.850		81	59.100	
-2	-0.920		39	27.600		82	59.850	
-1	-0.310		40	28.350		83	60.600	
0	0.300		41	29.100		84	61.350	
1	0.910		42	29.850		85	62.100	
2	1.520		43	30.600		86	62.850	
3	2.130		44	31.350		87	63.600	
4	2.740		45	32.100		88	64.350	
5	3.350		46	32.850		89	65.100	
6	3.960		47	33.600		90	65.850	
7	4.570		48	34.350		91	66.600	
8	5.180		49	35.100		92	67.350	
9	5.790		50	35.850		93	68.100	
10	6.400		51	36.600		94	68.850	
10	6.400	0.725	52	37.350		95	69.600	
11	7.125		53	38.100		96	70.350	
12	7.850		54	38.850		97	71.100	
13	8.575		55	39.600		98	71.850	
14	9.300		56	40.350		99	72.600	
15	10.025		57	41.100		100	73.350	
16	10.750		58	41.850		101	74.100	
17	11.475		59	42.600		102	74.850	
18	12.200		60	43.350		103	75.600	
19	12.925		61	44.100		104	76.350	
20	13.650		62	44.850		105	77.100	
21	14.375		63	45.600		106	77.850	
22	15.100		64	46.350		107	78.600	
23	15.825		65	47.100		108	79.350	
24	16.550		66	47.850		109	80.100	
25	17.275		67	48.600		110	80.850	
26	18.000		68	49.350		111	81.600	
27	18.725		69	50.100		112	82.350	
28	19.450		70	50.850		113	83.100	
29	20.175		71	51.600		114	83.850	
30	20.900		72	52.350		115	84.600	
31	21.625		73	53.100		116	85.350	
32	22.350		74	53.850		117	86.100	

Piano delle ossature dalla perpendicolare addietro

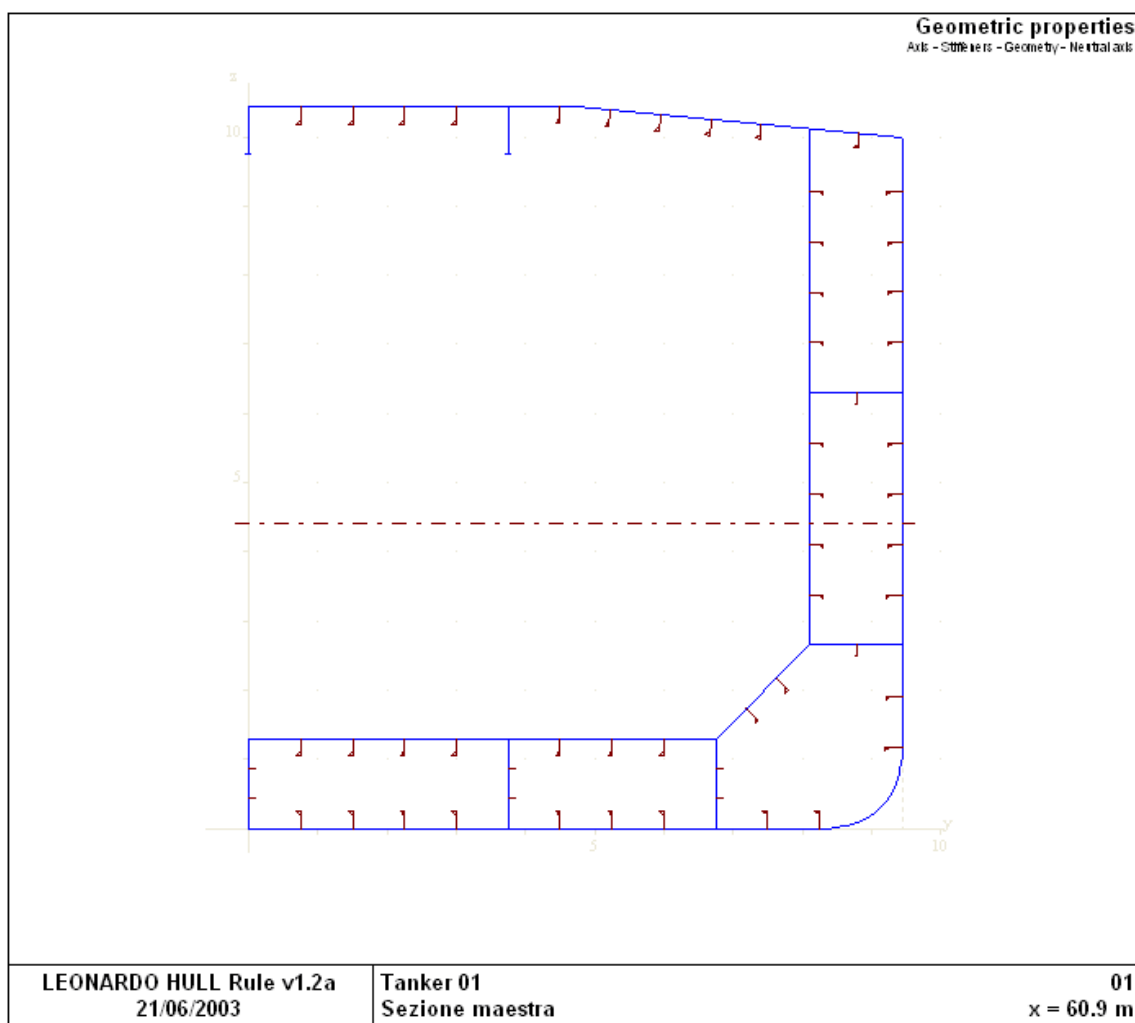
Numero ossatura	x [m]	Spacing [m]	Numero ossatura	x [m]	Spacing [m]
118	86.850		147	108.600	
119	87.600		148	109.350	
120	88.350		149	110.100	
121	89.100		150	110.850	
122	89.850		151	111.600	0.750
123	90.600		152	112.350	
124	91.350		153	113.100	
125	92.100		154	113.850	
126	92.850		155	114.600	
127	93.600		156	115.350	
128	94.350		156	115.350	
129	95.100		157	115.950	
130	95.850		158	116.550	
131	96.600		159	117.150	
132	97.350	0.750	160	117.750	
133	98.100		161	118.350	
134	98.850		162	118.950	
135	99.600		163	119.550	
136	100.350		164	120.150	
137	101.100		165	120.750	0.600
138	101.850		166	121.350	
139	102.600		167	121.950	
140	103.350		168	122.550	
141	104.100		169	123.150	
142	104.850		170	123.750	
143	105.600		171	124.350	
144	106.350		172	124.950	
145	107.100		173	125.550	
146	107.850		174	126.150	

In particolare nel corpo centrale, costituito da sei stive della lunghezza 15 m ciascuna, si è adottato un intervallo di ossatura ordinaria di 750 mm, interponendo una costola rinforzata ogni 3750 mm. (vedi tavola 1, 2, 3).

Viste le richieste dell'armatore di verifica da parte della nave delle norme MARPOL si è convenuto di comporre la sezione maestra, posta a 65.850 m dall'estrema poppa, di un doppio fondo con un paramezzale centrale e due laterali; di un doppio fasciame con due copertini di rinforzo e sul ponte per chiudere la cella creata dai paramezzali e dai montanti di paratia sono state inserite un'anguilla centrale e due laterali.

Come precisato precedentemente la struttura adottata per la nave è prettamente longitudinale pertanto unico rinforzo trasversale previsto in corrispondenza delle ossature ordinarie è una squadra flangiata posta ad irrobustire la lamiera del ginocchio, mentre nelle costole rinforzate sono stati inseriti dei madieri.

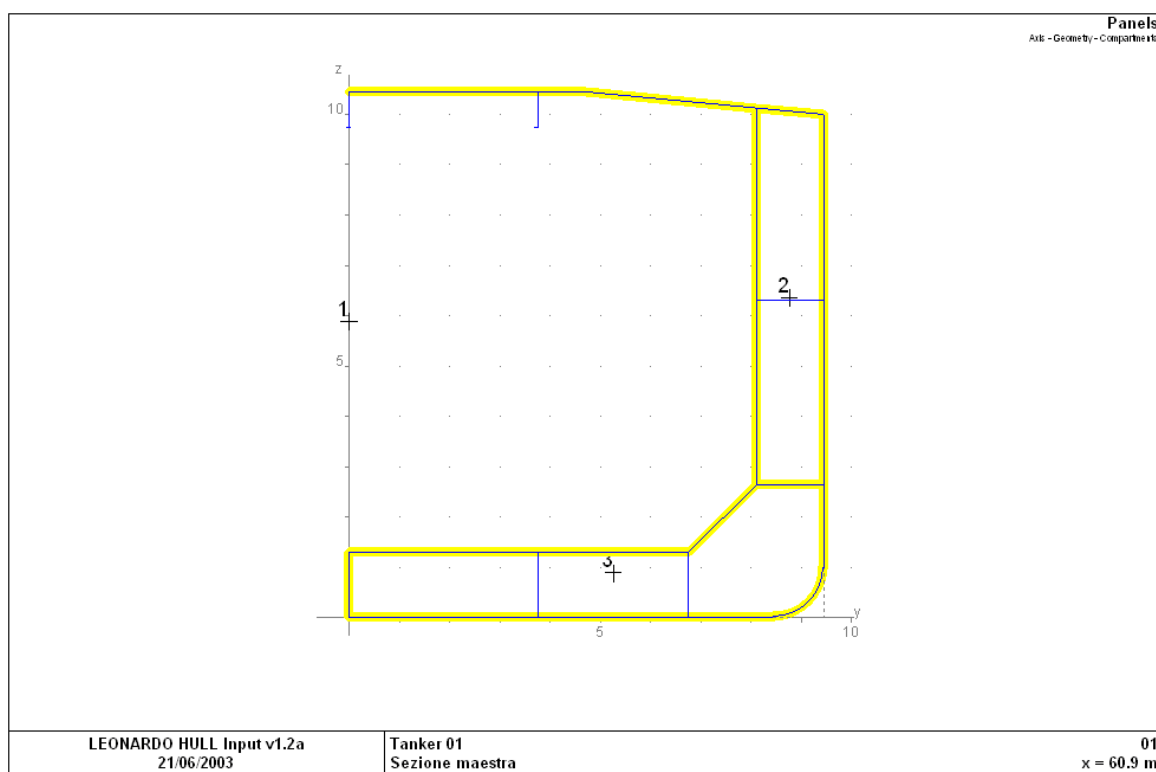
Schema di una sezione ordinaria



Come rilevabile dalle tavole 1 e 4, la sezione maestra è stata suddivisa in tre compartimenti stagni:

- Compartimento 1: stiva della lunghezza di 15 m va da paratia trasversale a paratia trasversale, destinata al trasporto del carico consistente come detto in prodotti petroliferi.
- Compartimento 2: cassa nafta della lunghezza di 30 m è composta dal doppio fondo di due stive attigue, destinata al trasporto del carburante per le macchine.
- Compartimento 3: cassa zavorra della lunghezza di 30 m è composta dal doppio fasciame di due stive attigue, destinata all'imbarco di acqua di zavorra, oppure al trasporto di acqua di lavanda.

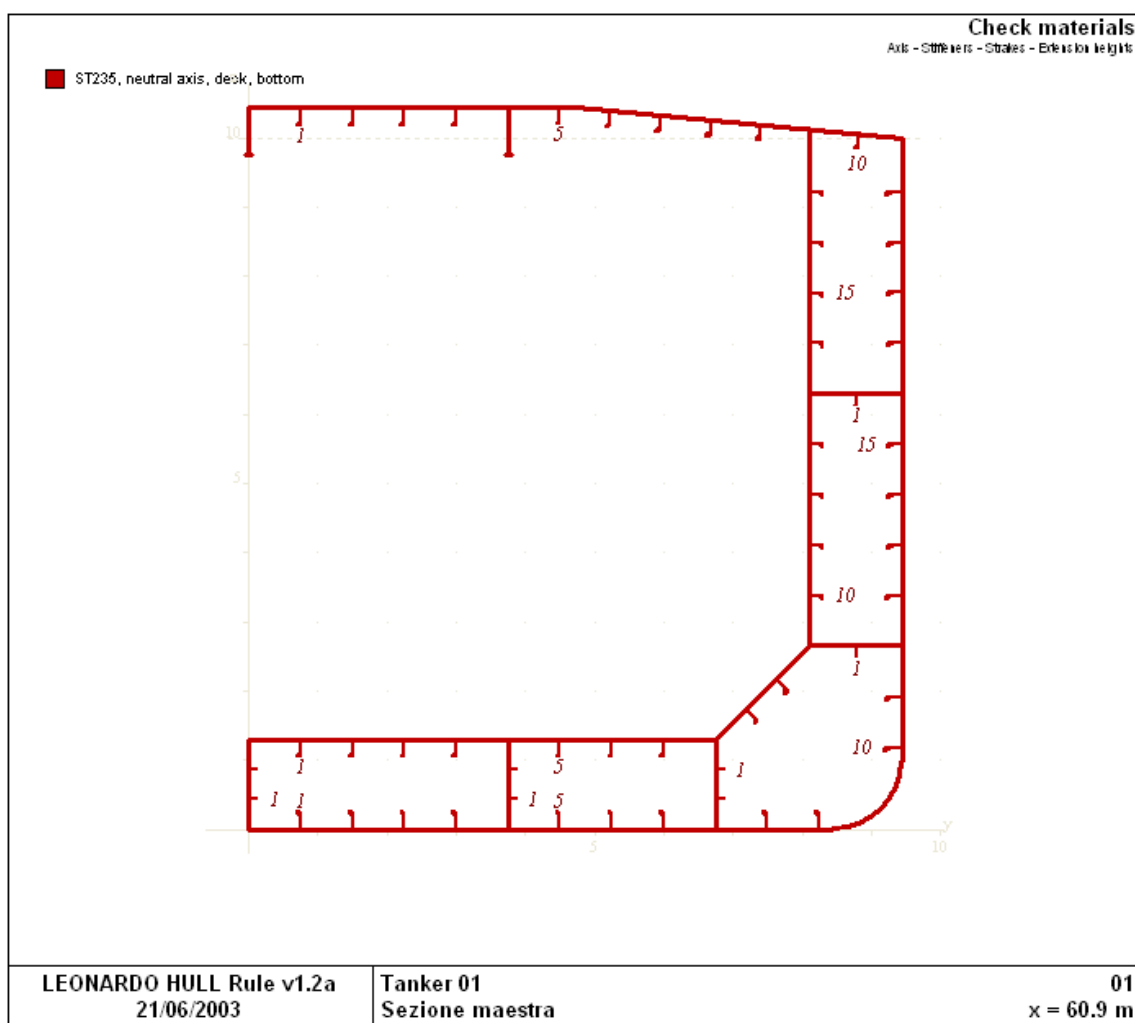
Schema disposizione dei compartimenti stagni



2. PROGETTO STRUTTURALE GLOBALE

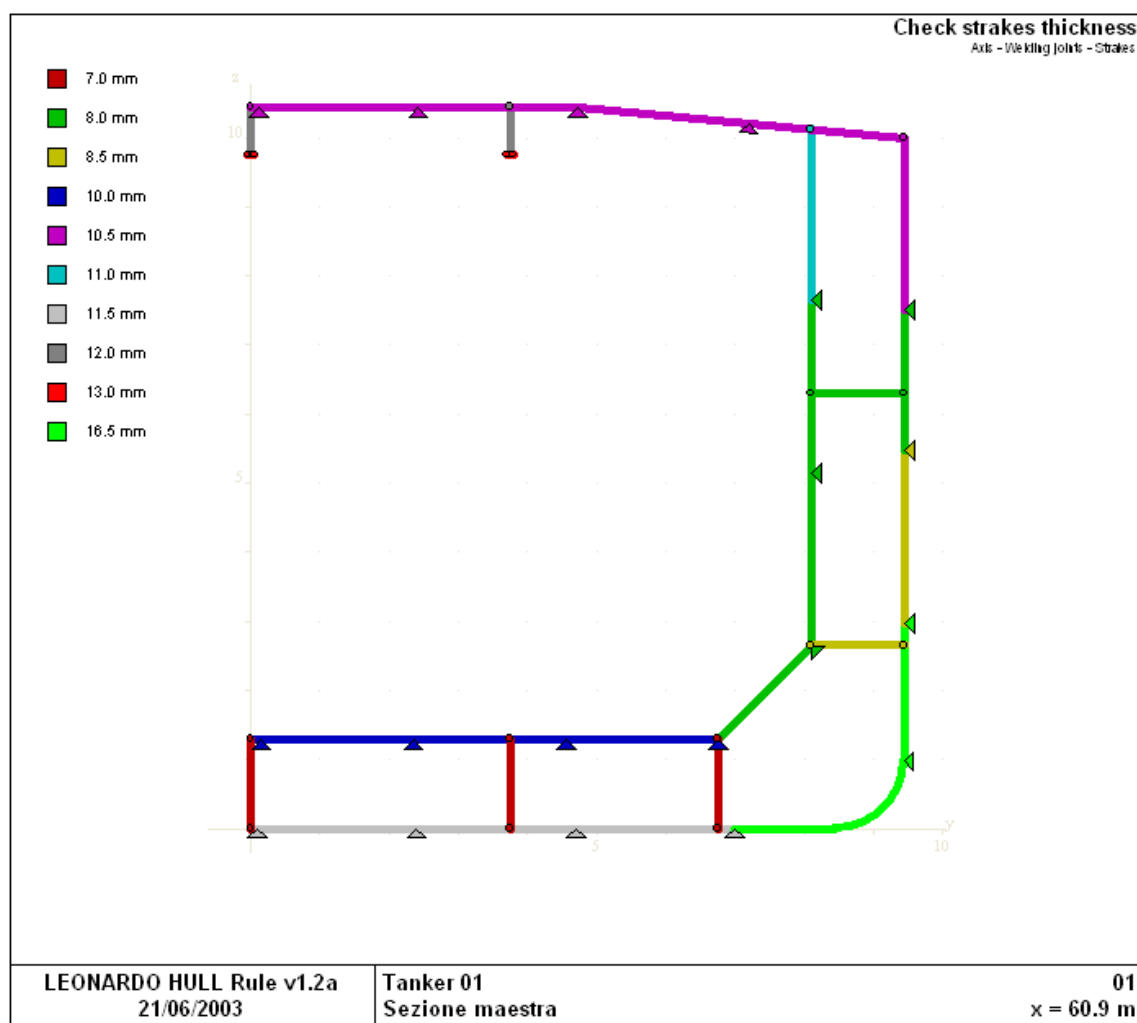
Vista l'economicità che deve contraddistinguere la nave si è deciso di costruirla interamente in acciaio 24 caratterizzato da un modulo di Young pari a $2.06 \cdot 10^5 \frac{N}{mm^2}$.

Schema materiali utilizzati



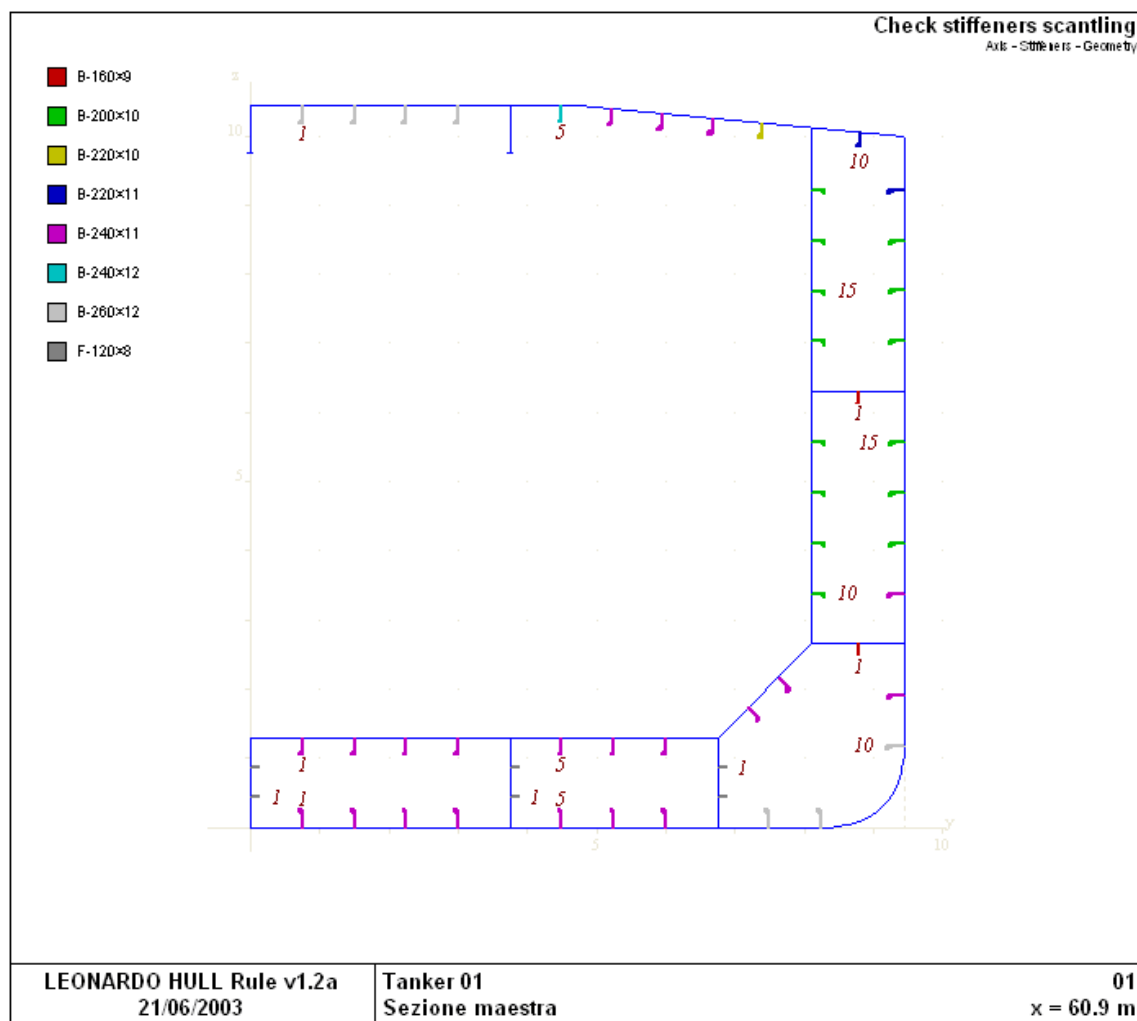
Per un primo dimensionamento dei corsi di fasciame e dei ferri ci si riferiti ad una nave modello simile già costruita. Al fine di standardizzare il più possibile la fornitura di lamiere, si è limitata la larghezza dei corsi a 2500 mm, eccezion fatta per il ginocchio che misura 3000 mm, e si è cercato di uniformarne il più possibile lo spessore. Questi ultimi sono stati proporzionati prevedendo le richieste di resistenza della struttura: pertanto le zone più sollecitate quali ginocchio, cinta trincarino e chiglia sono state pensate, già in fase di primo dimensionamento, con lamiere di spessori più elevati. È stata invece subito scartata la possibilità di ricorrere in questi particolari corsi ad acciai ad alta resistenza come il 32 perché eccessivamente costosi e lontani dalla filosofia adottata nel progetto della nave.

Schema spessori corsi di fasciame



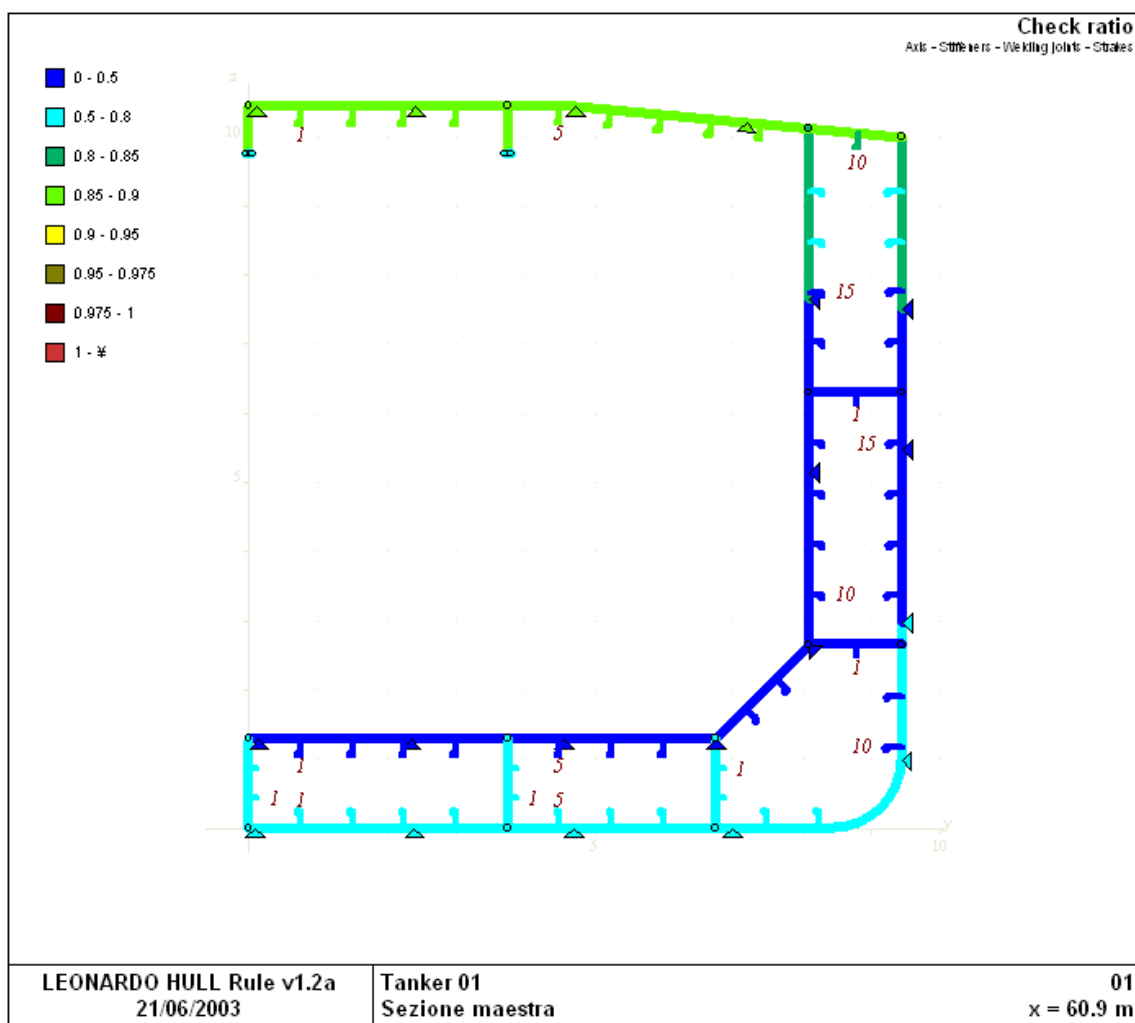
Espedienti analoghi sono stati adottati nel dimensionamento dei ferri cercando il più possibile, anche qui, di uniformare la fornitura.

Schema ferri



Tutte le successive verifiche, eseguite automaticamente con il programma fornito dal RINA, il Leonardo Hull, sono state condotte pensando prima a soddisfare le richieste di robustezza globale modificando lo spessore dei corsi di fasciame e solo in un secondo tempo cambiando i ferri.

Schema risultati verifica robustezza globale



3. PROGETTO STRUTTURALE LOCALE

Verificata la robustezza globale della sezione maestra si è passati alla verifica locale, sempre a mezzo del programma Leonardo Hull, dei rinforzi ordinari di una costola ordinaria (la verifica della sezione con costola rinforzata non è stata eseguita in questa sede, anche se si è comunque eseguito un dimensionamento). Anche in questo caso si è cercato di adattare le dimensioni dei ferri non solo assecondando le richieste di robustezza della sezione, ma facendo sì che la risposta di questa alle sollecitazioni di progetto sia il più omogenea possibile al fine di evitare zone di eccessiva rigidità o di scarsa risposta perché potenziali cause di rotture. Ripetendo ad ogni cambiamento le prove automatiche si è giunti al dimensionamento finale della sezione maestra. Il programma al termine delle verifiche, eseguite sia in regime di gross scantling che in quello di net scantling (margine per la corrosione), ha fornito i risultati raccolti nelle seguenti tabelle:

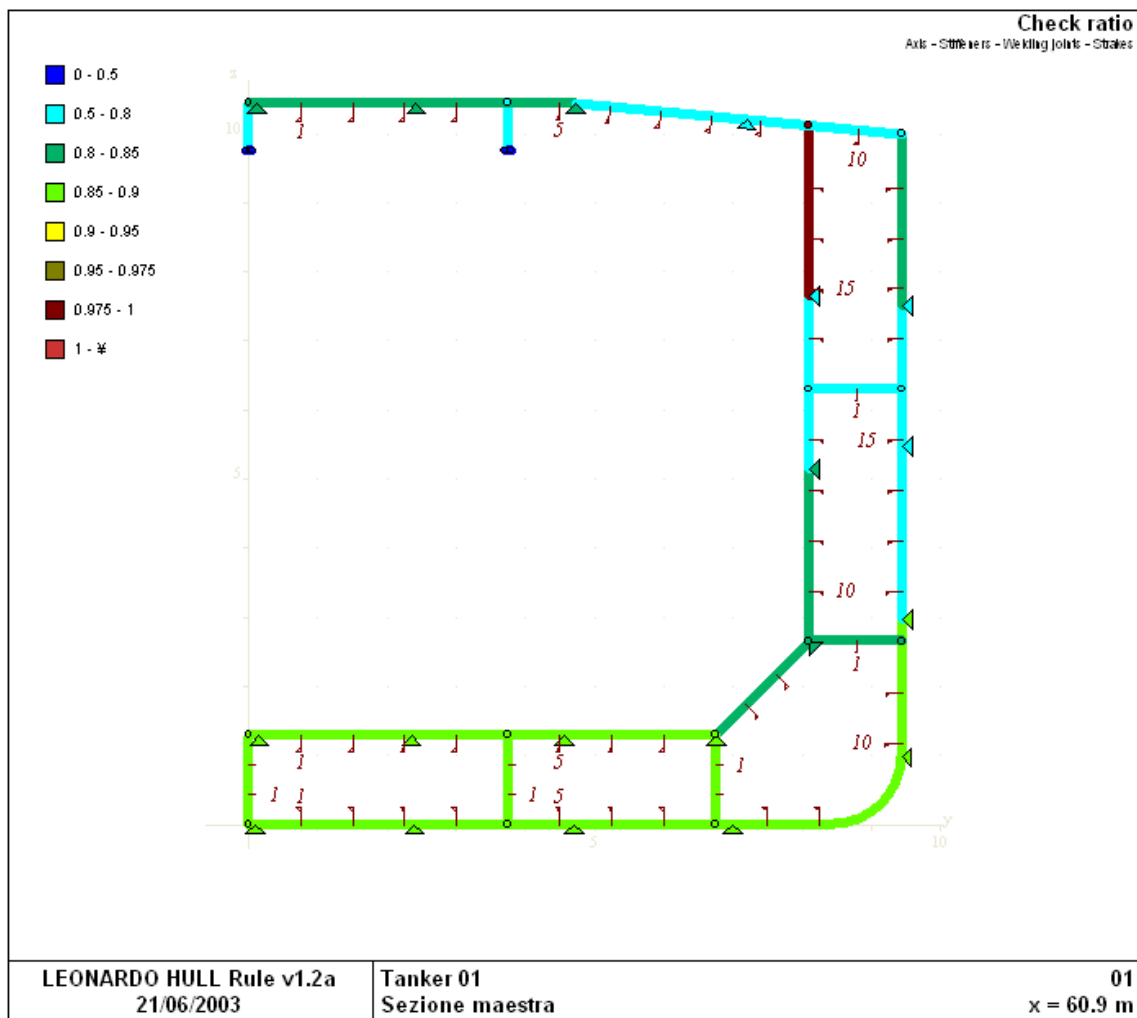
Risultati della verifica geometrica della sezione

Area totale elementi sezione maestra	A_{TOT}	1.39130 m ²
Altezza dell'asse neutro	y_{AN}	4.42300 m
Momento di inerzia rispetto all'asse neutro	J_{AN}	23.30090 m ⁴
Modulo di resistenza al fondo	w_F	5.26800 m ³
Modulo di resistenza al ponte	w_P	4.17810 m ³

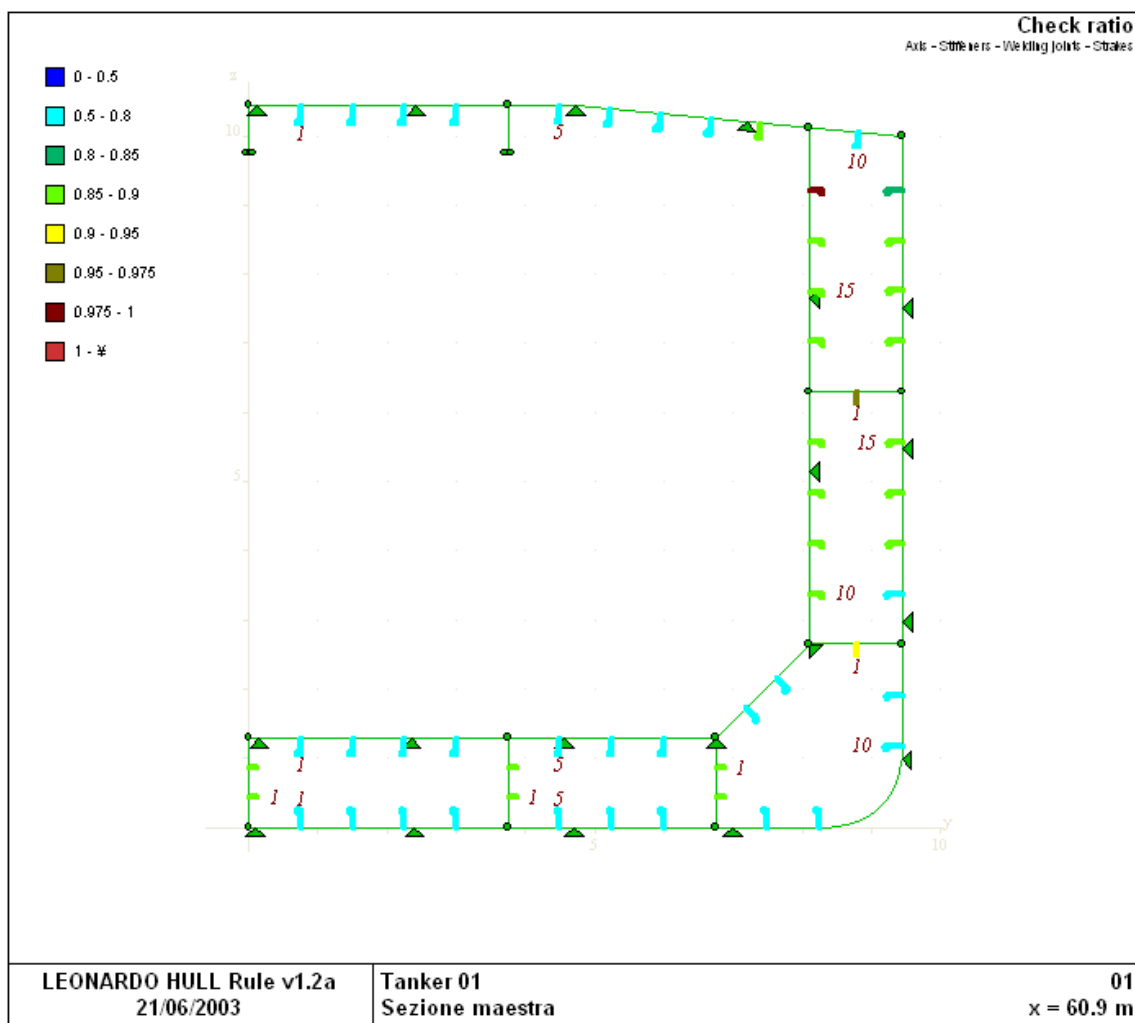
Confronto dei risultati con i limiti di registro considerando i margini di corrosione

		<i>Registro</i>	<i>Gross</i>	<i>Net</i>
Modulo di resistenza al fondo	w_F	3.45033 m ³	5.26800 m ³	4.64640 m ³
Modulo di resistenza al ponte	w_P	3.45033 m ³	4.17810 m ³	3.54280 m ³
Momento di inerzia rispetto all'asse neutro	J_{AN}	12.60750 m ⁴	23.30090 m ⁴	20.10110 m ⁴
Altezza dell'asse neutro	y_{AN}		4.42300 m	4.32600 m

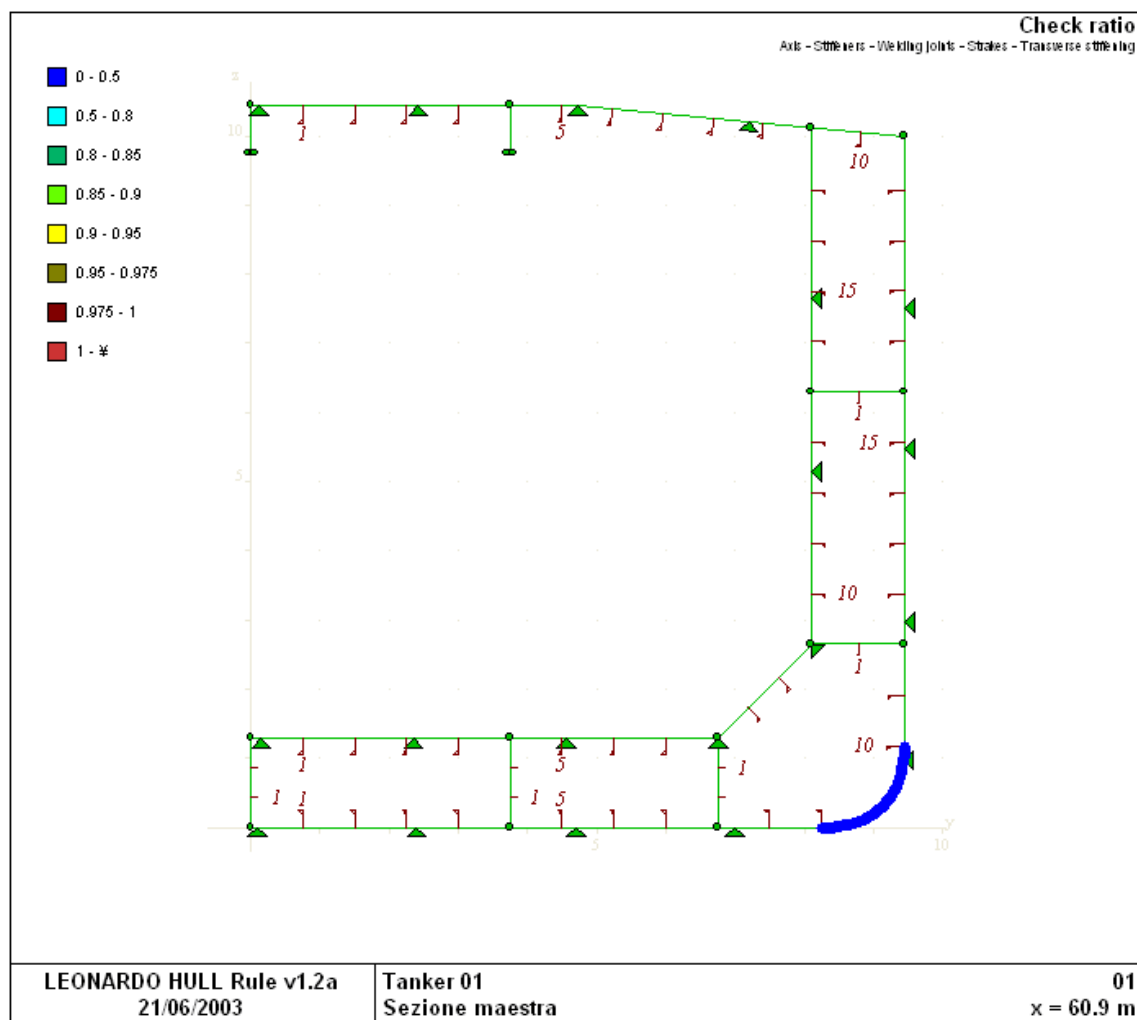
Schema verifica locale dei corsi di fasciame



Schema verifica rinforzi longitudinali ordinari



Schema verifica rinforzi trasversali in sezione ordinaria



Successivamente alla verifica condotta con il programma sono state ricalcolate a mano le caratteristiche geometriche della sezione:

- $A_{TOT} = A_{CORSI} + A_{FERRI}$: in cui l'area della sezione dei corsi di fasciame è stata calcolata moltiplicando la larghezza del corso per il suo spessore, mentre l'area della sezione dei ferri è stata ricavata da un profilatario per i piatti-bulbo mentre è stata calcolata come il fasciame per i ferri piatti;
- y : distanza dei vari elementi dalla linea di costruzione fuori fasciame;
- y_g : posizione del baricentro della sezione dei vari componenti misurata anch'essa dalla linea di costruzione;

- J_0 : momento di inerzia proprio dell'elemento, calcolato nel caso degli elementi a sezione rettangolare, letto dal profilatario per i ferri piatto-bulbo;
- $y_{AN} = \frac{\sum A \cdot y}{\sum A}$: individua l'altezza dell'asse neutro rispetto alla linea di costruzione;
- $J_F = \sum J_0 + \sum A \cdot y^2$: individua il momento di inerzia di tutta la sezione maestra rispetto alla linea di costruzione;
- $J_{AN} = J_F + \sum A \cdot y_{AN}^2$: individua il momento di inerzia di tutta la sezione rispetto all'asse neutro;
- y_F : è la distanza del fondo dall'asse neutro;
- $y_P = D - y_{AN}$: è la distanza del ponte dall'asse neutro (D è l'altezza di costruzione nel caso specifico assunta pari a 10.45 m);
- $w_F = \frac{J_{AN}}{y_F}$: modulo di resistenza della sezione calcolato rispetto al fondo;
- $w_P = \frac{J_{AN}}{y_P}$: modulo di resistenza della sezione calcolato rispetto al ponte.

Modificando leggermente la sezione, approssimando il ginocchio ad una lamiera piana inclinata a 45° ed eliminando il bolzone elevando, quindi, tutto il ponte all'altezza di 10.450 m, si è proceduto alla stesura della seguente tabella calcolata per tutta la sezione maestra in quanto le lamiere del fondo, del cielo del doppio fondo e del ponte non sono state scelte simmetriche per poter realizzare in quelle zone corsi di fasciame di larghezza inferiore a 2500 mm.

Elementi geometrici della sezione maestra

$y_{\text{asse neutro}} = 4.467369 \quad \text{m}$	$w_{\text{fondo}} = 5.236821 \quad \text{m}^3$
$J_{\text{fondo}} = 51.041451 \quad \text{m}^4$	$w_{\text{ponte}} = 3.910456 \quad \text{m}^3$
$J_{\text{asse neutro}} = 23.394814 \quad \text{m}^4$	$\text{Area} = 1.385284 \quad \text{m}^2$