



Il Giornale dell'
Ingegnere

PERIODICO D'INFORMAZIONE PER GLI ORDINI TERRITORIALI

Fondato nel 1952

N.1/2022 gen-feb



SPECIALE |
10 anni dal naufragio della Costa Concordia
Trenta mesi dopo il naufragio, il *parbuckling*, l'impresa che molti nel mondo ritenevano impossibile era andata a buon fine: nave sollevata in 19 ore con una rotazione di 65 gradi. Un'operazione dal carattere eccezionale che ha stupito il mondo intero

PAG. 6

SPECIALE / COSTA CONCORDIA



Le opere di ingegneria nel recupero dei relitti: il caso della Costa Concordia, un successo dell'ingegneria italiana

Costa Concordia recovering project. (ph. credit Trevi)



Trenta mesi dopo il naufragio, il parbuckling, l'impresa che molti nel mondo ritenevano impossibile era andata a buon fine: nave risollevata in 19 ore con una rotazione di 65 gradi. Un'operazione dal carattere eccezionale che ha stupito il mondo intero. Ne ripercorriamo le fasi salienti con alcune delle aziende italiane che hanno reso possibile l'operazione del Giglio

A CURA DI PATRIZIA RICCI

Sono passati 10 anni dal naufragio della Costa Concordia, una delle tragedie più grandi che la marineria mondiale abbia mai conosciuto. Il 13 gennaio 2012, la Costa Concordia si inabissava davanti all'isola del Giglio, incagliandosi in una delle zone più belle del Parco delle Isole

Toscane. Il 16 settembre 2013, 30 mesi dopo il naufragio, si tentò, con successo, quella che in molti nel mondo ritenevano un'impresa impossibile, il **raddrizzamento del relitto o rotazione in assetto verticale (parbuckling)**, presupposto indispensabile per il rigalleggiamento (*re-floating*) della nave e il successivo trasferimento al porto di Genova, dove sarebbe stata smantellata. La collaborazione italo-americana

tra Micoperi e Titan aveva vinto la sfida. Il gruppo di tecnici e operai di 26 differenti nazionalità, che ha visto al lavoro 500 addetti nelle varie fasi preparatorie del *parbuckling* e oltre 350 tecnici per la fase di rigalleggiamento, sapientemente guidato dal team di ingegneri coordinati da **Nick Sloane**, *Senior salvage master* della Costa Concordia, aveva portato a termine la parte più complessa dell'intero

progetto di rimozione: sollevare l'enorme relitto da 112mila tonnellate di stazza, per 52 metri di altezza, 290 metri di lunghezza e 35,5 metri di larghezza. All'alba del 17 settembre, infatti, la nave tornata in posizione verticale – risollevata in 19 ore con una rotazione di 65 gradi –, mostrava al mondo intero il lato ferito e squarciato. Ci sarebbero voluti altri mesi prima di affrontare l'ultimo viaggio: il 23 luglio 2014 il

relitto ha lasciato l'isola del Giglio per essere trasportato al porto di Genova Voltri, dove è avvenuto lo smantellamento e il riciclo dei materiali. Allora, gli occhi del mondo furono tutti puntati su Genova perché anche la successiva fase di smantellamento e riciclo quasi completo dei materiali di cui era composto il relitto ha rappresentato uno dei più importanti esempi di "green ship recycling" mai realizzati in Europa.

IL RECUPERO DEI RELITTI NELLA STORIA DELLA MARINERIA ITALIANA

“La tecnica utilizzata per il recupero del relitto della Costa Concordia può essere considerata una delle più complesse nella storia della marineria per le difficoltà superate, per la rotazione con ancoraggio a terra e per la stazza della nave; un'operazione tecnico-ingegneristica unica nel suo genere, per la quale sono state impiegate le migliori competenze a livello internazionale, in gran parte italiane, inquadrabili nel solco della tradizione della marineria italiana che, a partire dai primi del '900, ha accumulato grande esperienza nei recuperi marittimi”, commenta Biagio Rosario Parisi, ingegnere navale e meccanico, cofondatore dello Studio di ingegneria Navale Tecnav Studio Associato, e coordinatore della Commissione Navale dell'Ordine degli Ingegneri di Napoli. “Il primo caso di recupero marittimo risale alla prima metà del 1800, quando per la prima volta in Inghilterra si effettuò uno studio finalizzato al recupero del relitto di una nave della marina militare affondata in porto, mettendo a punto nuove tecniche di immersione per i

palombari e una tecnica di sollevamento tramite pontoni. Un tentativo che tuttavia non andò a buon fine. In realtà, in questa specialità – precisa Parisi – noi italiani, con la Marina Militare, siamo stati dei precursori; basti ricordare il recupero della corazzata “Leonardo da Vinci” che affondò nel porto di Taranto nel 1916, capovolgendosi a seguito di un'esplosione. All'inizio del 1921, la nave venne rimorchiata, sempre capovolta, in Mar Piccolo, in un punto del quale erano state fatte operazioni di dragaggio per aumentare il fondale e dove furono portate a termine le operazioni di capovolgimento utilizzando 1500 tonnellate di catene e oltre 800 tonnellate di acqua collocati sul suo lato destro, ponendo le basi della tecnica del *parbuckling*. A questa operazione ne seguirono altre, il recupero dell'incrociatore Trieste, affondato a seguito di un bombardamento nel 1943 in Sardegna davanti a Palau, e quello della nave da Battaglia Cavour dopo il bombardamento di Taranto nel 1940, alla fonda del Mar Grande nel porto di Taranto. Il *parbuckling* è stato usato

anche per il recupero dello Uss Oklaoma che nel 1943 fu riportato in posizione verticale dopo il bombardamento nel porto di Pearl Harbor. L'eccezionalità del caso della Concordia è dovuta al fatto che si tratta del primo recupero in cui il relitto è stato raddrizzato e riportato a galleggiamento sul posto, per poter essere trasportato e rimosso in una fase successiva. Negli esempi sopra ricordati, infatti, i relitti sono stati prima fatti rigalleggiare, tramite l'impiego di argani e cassoni, e poi trasportati nel porto o in fondali che ne consentivano il ribaltamento, utilizzando e mettendo a punto il *parbuckling*, una tecnica che veniva utilizzata nell'Ottocento per ruotare e sollevare grossi barili attraverso l'applicazione di una doppia corda. Grazie all'ingegno e alla capacità di aziende italiane che rappresentano l'eccellenza nel settore, nel caso della Concordia si è riusciti ad affrontare problemi complessi riuscendo a trovare soluzioni non standard che hanno reso possibile il recupero”, afferma Parisi.

IL RECUPERO DELLA COSTA CONCORDIA

Ripercorriamo in dettaglio alcuni aspetti di un progetto che, nella sua esecuzione operativa, ha richiesto ingegno, innovazione tecnologica e modelli predittivi. La rimozione della Costa Concordia, durata 2 anni, da maggio 2012 a luglio 2014, e dagli esperti considerata il più grande recupero navale della storia della marineria, ha rappresentato un'operazione tecnico-ingegneristica unica nel suo genere ed estremamente complessa, per la quale sono state impiegate le migliori competenze a livello internazionale, tecnologie d'avanguardia e spesi oltre un miliardo di euro. Un milione di ore di lavoro e 78 aziende coinvolte, tra le quali, impegnate in ruoli nevralgici, diverse aziende italiane specializzate in opere marittime. **Fincantieri, Cetena, Tecon, Spline, Trevi, Fagioli, Cimolai, Rosetti, Gas&Heat, Nuova Olmec** sono solo alcuni dei nomi delle imprese che, guidate e coordinate da Costa, hanno permesso l'operazione di *parbuckling*, considerata senza precedenti per la posizione e le dimensioni della nave.

LE ORIGINI DEL PROGETTO DI RECUPERO

All'indomani del disastro venne indetta una gara internazionale a cui parteciparono le maggiori aziende di Recupero&Salvage a livello internazionale. L'idea vincente del consorzio composto dalla Titan Salvage, società statunitense appartenente a Crowley Group, *leader* mondiale nel settore del recupero di relitti, e dalla Micoperi, società di Ravenna con una lunga esperienza nell'ingegneria e installazione di strutture *offshore* e tubazioni sottomarine, fin da subito condivisa con la **Tecon**

dell'ing. **Tullio Balestra**, società di consulenza di ingegneria specializzata nel settore *offshore* marino, e la **Spline** dell'ing. **Mario Scaglioni**, società esperta nella progettazione navale di base e di dettaglio, era quella di riportare l'intero relitto in posizione verticale (fase di *parbuckling*), poggiandolo su strutture portanti temporanee.

“La Tecon e la Spline sono state coinvolte fin da subito nell'operazione di recupero. Agli inizi di febbraio del 2012”, racconta l'ing. Tullio Balestra. “Poche settimane dopo l'incidente, **Silvio Bartolotti**, titolare della Micoperi e nostro cliente da sempre, mi ha chiesto di contribuire con l'amico Mario Scaglioni all'individuazione della metodologia di recupero che meglio rispondesse alle prescrizioni del bando di gara internazionale. Si costituisce così la *team* di progetto, con il coordinamento di **Giovanni Ceccarelli**, titolare dell'omonimo Studio specializzato in *Yacht Design & Engineering*, il quale inizia il lavoro partendo dalla consapevolezza – accertata insieme ai tecnici del consorzio – che il recupero sarebbe dovuto avvenire in due fasi. **Prima si sarebbe dovuto raddrizzare il relitto e solo successivamente si sarebbe potuto farlo rigalleggiare.** Il risultato è stato che, nonostante tutte le proposte pervenute fossero di elevata qualità, **il comitato tecnico di valutazione preferì la nostra soluzione perché valutata quella con minor impatto ambientale**, requisito prioritario del bando, e per le modalità con cui si proponeva di ruotare la nave fino ad appoggiarla su una serie di piattaforme sottomarine in acciaio e collegare la nave a compartimenti galleggianti posizionati lungo le fiancate in grado di fornire la spinta necessaria per il rigalleggiamento. Era la



Costa Concordia recovering project. Carotaggio (ph. credit Trevi)

nostra risposta al requisito di non smantellare o fare a pezzi il relitto *in loco*, ma rimuoverlo come un'unità unica, preservando l'ambiente e ripristinando le condizioni originarie del sito attraverso la rimozione di tutte le opere temporanee”, spiegano Tullio Balestra e Mario Scaglioni. Il progetto, che è stato una testimonianza dell'eccellenza dell'ingegneria italiana, nella prima fase si è sviluppato grazie all'importante collaborazione garantita da **Fincantieri**, costruttore della Costa Concordia, che ha messo a disposizione il progetto originale e i propri progettisti, e dal **Cetena** per gli studi e i calcoli a elementi finiti eseguiti con il modello nave, modificato in base ai danni subiti dallo scafo. Una volta riportato nelle condizioni di poter galleggiare, il relitto è stato

trainato nel porto di Genova per le operazioni di smantellamento e riciclo della nave. La rimozione è stata l'ultima fase delle operazioni di recupero.

Il raddrizzamento è stato preceduto dalla delicatissima **operazione di svuotamento del carburante** (*defueling*), conclusa il 24 marzo 2012, di pulizia del fondale marino e recupero di materiali e detriti usciti dalla nave in seguito all'incidente (*caretaking*), a opera di **Smith Salvage** in collaborazione con l'italiana **Tito Neri**.

L'IDEA ALLA BASE DEL PROGETTO

Del rigalleggiamento si è occupato Mario Scaglioni, studiando un sistema di cassoni esterni allo scafo, nella giusta convinzione che qualsiasi tentativo di utilizzare i compartimenti del relitto per generare la spinta neces-

saria a far rigalleggiare la nave sarebbe stata un'inutile perdita di tempo. “La prima cosa da fare era trovare la spinta idrostatica da fornire al relitto, ipotizzando che fin da subito i cassoni potessero fornire spinta nuova e certa, non sapendo se fossero presenti dei compartimenti stagni non allagati nel relitto che potessero contribuire alla spinta. Ci siamo perciò posti nella condizione di doverla fornire tutta esternamente. Valutando solo alla fine anche il contributo della nave, dovuto solo alla spinta propria di tutti i componenti solidi”, racconta Scaglioni.

Compito dell'ing. Balestra, in particolare, è stato quello di **studiare le modalità con cui ruotare il relitto e come supportarlo a rotazione avvenuta.** “Per ruotare un relitto di quasi 300 metri di lunghezza con un peso in acqua di circa 45.000 tonnellate è necessario disporre sia di una grande capacità di tiro sia di un sistema di ritenuta in grado di garantire la necessaria reazione al tiro stesso”, commenta il titolare della Tecon. Per l'identificazione delle attrezzature e delle strutture ausiliarie più idonee alle funzioni necessarie a questa prima fase preparatoria al rigalleggiamento del relitto, gli ingegneri della Tecon, società costituita nel 1982, hanno preso spunto dalle esperienze maturate in più di 35 anni di lavoro nel settore *offshore*, anche se in questo caso si trattava di problematiche nel loro genere uniche.

LE PROBLEMATICHE OPERATIVE

“Per la rotazione della nave – spiega Balestra – era necessario prevedere un piano artificiale sul quale farla appoggiare a valle della rotazione che, sfruttando la nostra esperienza nelle strutture *offshore*, abbiamo pensato di realizzare con delle piattaforme sottomarine, e due sistemi *attivi*: uno in grado di fornire il tiro necessario a ruotare il relitto e uno di ritenuta, necessario a mantenere a pag. 8



Costa Concordia recovering project. (ph. credit Trevi)

SPECIALE / COSTA CONCORDIA

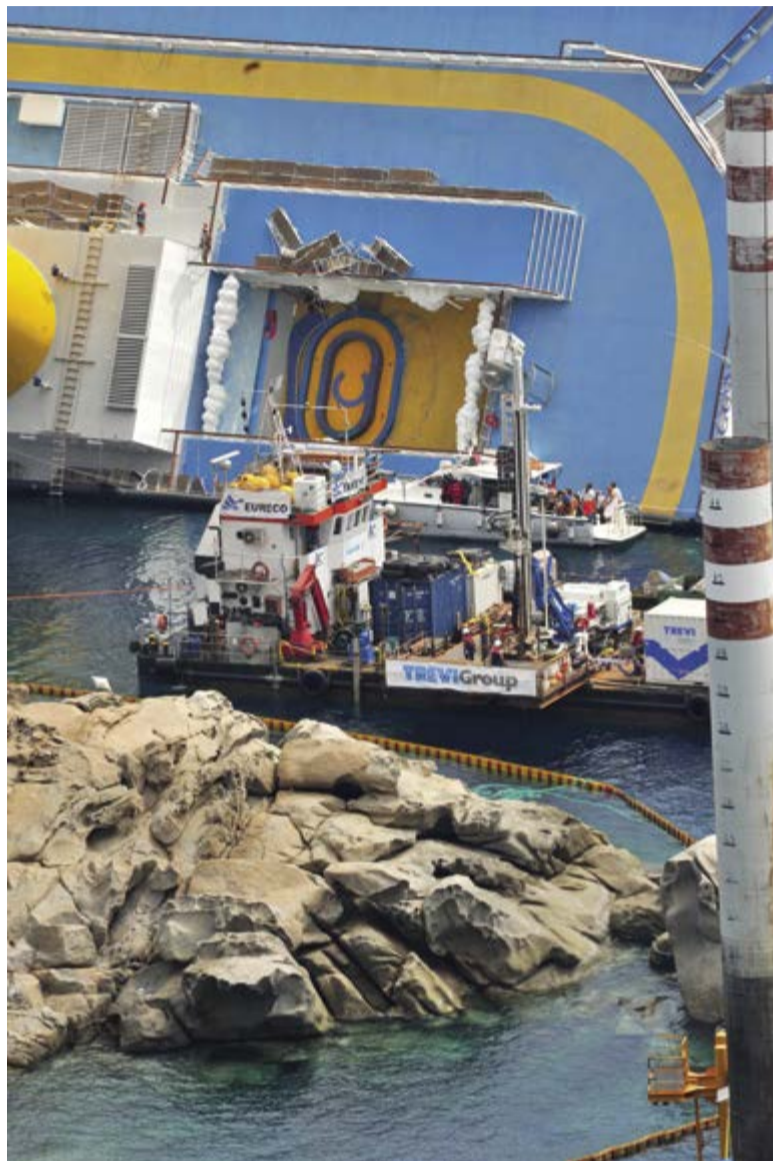


continua da pag. 7

nere in posizione il relitto durante la rotazione. Il sistema di tiro è stato realizzato con una serie di martinetti idraulici (*strand jacks*) ancorati, lato nave, sui cassoni posti sulla murata sinistra, che, date le dimensioni, avrebbero anche contribuito ad aumentare il braccio della rotazione, mentre, all'estremo opposto, l'ancoraggio è stato realizzato tramite appositi telai integrati nelle piattaforme. Il sistema di ritenuta è stato pensato e realizzato con una serie di catene fatte passare sotto la chiglia, ancorate a blocchi di fondazione posizionati lato terra e tensionate sempre tramite utilizzo di *strand jacks*". L'attrezzatura chiave utilizzata nel progetto di recupero della nave è costituita proprio da questi martinetti idraulici che sono stati forniti e operati da **Fagioli**".

Il vantaggio di questi *strand jacks* è che possono essere utilizzati in serie (per il sistema di tiro ne sono stati impiegati 36, ciascuno con una capacità di tiro di 300-450t) e sono gestiti da un sistema centralizzato in grado di garantire un controllo continuo e molto preciso delle forze applicate.

"Le problematiche iniziali - precisa Balestra - sono state di tipo geotecnico, perché la realizzazione degli ancoraggi del sistema di ritenuta si è rivelata alquanto complessa in quanto gli accessi e la manovrabilità nella zona di mare retrostante il relitto erano molto limitati e non consentivano l'esecuzione di perforazioni in roccia con grandi macchinari, come nel caso delle piattaforme a valle, verso mare. Il problema è stato risolto con il contributo di **SOIL**, primaria società di ingegneria geotecnica, prevedendo 11 blocchi di fondazione ancorati in roccia, brillantemente installati da Trevi utilizzando la tecnica dei tiranti in roccia, che prevedono dei fori molto più piccoli, dell'ordine dei 20 cm, e quindi attrezzature più maneggevoli". Occorre tra l'altro precisare che, fisicamente, l'accesso al sito è stato impedito per diversi mesi; cosa che ha comportato delle "sorprese" da risolvere in corso d'opera. "La nave doveva essere stabilizzata prima dell'inverno e comun-



Costa Concordia recovering project. (ph. credit Trevi)

que prima dell'arrivo delle burrasche tipiche dei mesi di ottobre/novembre. Siamo arrivati appena in tempo a fronteggiare l'impressionante mareggiata del 31 ottobre 2012, poi ricordata come "Halloween Storm". Successivamente, nel gennaio 2013, analisi del Cetena avevano posto un'altra problematica, quella relativa alla tenuta della nave a prua", afferma Balestra. "Si decise di **costruire due sistemi di spinta applicati intorno alla prua, i famosi blister. È stato il momento più critico**, perché si trattava di strutture particolarmente complesse, del peso complessivo di 1400t, da progettare e costruire in poco più di sei mesi, visto che la rotazione della nave doveva essere fatta entro settembre. Ancora, nella fase di *parbluckling* avevamo previsto di applicare un tiro compreso tra le 5000-6000t; pur avendo a disposizione, grazie ai 36 *strand jack*

da 300t-450t l'uno, una capacità di oltre 13.000t. Siamo partiti con 2000t distribuite sui 36 martinetti, applicando poi 500t di tiro alla volta e aspettando almeno 15 minuti tra una fase e la successiva in modo da consentire alle strutture della nave di assorbire e ridistribuire le tensioni. **La nave ha iniziato a muoversi solo con un tiro di circa 6800t, quindi superiore al previsto**, e questo, insieme alla decisione di applicare i tiri in più fasi, ha determinato dei tempi di completamento della rotazione più lunghi del previsto".

Quello della Concordia è stato un recupero molto particolare, soprattutto per le dimensioni della nave, davvero notevoli. Si è trattato di un'operazione unica nel suo genere. Ogni operazione di recupero è abbastanza unica, ma tutte hanno **un comune denominatore: l'utilizzo di tecnologie note, sperimentate e affidabili,**

QUATTRO DIRETTRICI DISTINTE ALLA BASE DEL PROGETTO

Quattro squadre distinte, ciascuna con il proprio progetto e il proprio *Salvage Master* di coordinamento, hanno lavorato contemporaneamente per la riuscita del progetto, articolato in altrettante direttrici: il sistema di ritenuta, per garantire la stabilità della nave sia nelle fasi preparatorie che durante la rotazione; il fondale artificiale realizzato con sacchi riempiti di malta cementizia posizionati in modo da garantire un supporto uniforme e continuo al ginocchio destro della nave durante e dopo la rotazione; le sei piattaforme sottomarine progettate sia per supportare la nave dopo la rotazione che per fornire l'ancoraggio ai cavi di tiro necessari per far ruotare il relitto; il sistema di rotazione, costituito da 36 linee di tiro che collegavano lo spigolo superiore dei cassoni di sinistra, saldati alla murata della nave, con uno speciale telaio di cui sono state dotate le piattaforme sottomarine. Le linee sono state tensionate da martinetti idraulici a recupero di cavo della Fagioli (*strand jacks*) della capacità di 300-450 tonnellate ciascuno. La rotazione della nave è stata ottenuta applicando simultaneamente i 36 tiri.

combinare in modo particolare e nuovo.

"Nel caso della Concordia, ciò che ha portato al successo dell'operazione è stato il contributo delle singole società coinvolte e dei loro uffici tecnici, che ha consentito lo svolgimento e lo sviluppo del progetto in tutte le sue fasi. L'idea infatti può essere anche buona, ma per la realizzazione serve il contributo di tutti. Noi, come Tecon, ci siamo occupati della parte di progettazione e ingegnerizzazione delle operazioni, ma gli altri team hanno fatto tutto il lavoro. Ogni sistema andava comunque adattato alla particolare situazione, davvero complessa. E quello che mi preme sottolineare è che, fermo restando il fatto che le operazioni al Giglio sono state dirette in maniera estremamente professionale dalla Titan e da Nick Sloane, **l'ingegneria che ha consentito la realizzazione del recupero è 100% italiana** e la chiave del successo, oltre alla disponibilità economica della committenza che non ci ha posto limiti, è stata la conoscenza e l'abitudine alla collaborazione di tutte le aziende chiamate a intervenire; in fondo il nostro è un mondo molto piccolo", conclude Balestra.

LE VERIFICHE E I CALCOLI FEM A SUPPORTO DELLA PROGETTAZIONE

È il **Cetena**, il **Centro Studi di tecnica navale del Gruppo Fincantieri** con 60 anni di vita e di consulenza ingegneristica e ricer-

ca applicata al settore navale, a seguire fin dall'inizio il progetto di recupero della Costa Concordia, prima ancora che si costituissero il consorzio Titan-Micoperi, e a effettuare i calcoli FEM per verificare la robustezza del relitto. Il team interdisciplinare che per il Cetena ha seguito tutte le fasi delle operazioni, da quelle iniziali a quelle di demolizione e smantellamento del relitto, era composto da diverse figure, tra cui gli ingegneri **Matteo Codda, Responsabile della BU Ingegneria e Ricerca di Piattaforma e coordinatore del team**, e **Giovanni Riso, esperto di analisi strutturali, impegnato nelle fasi operative.**

"Il nostro ruolo, sempre integrato dal supporto di Fincantieri, nostro azionista di riferimento, è consistito nell'inserimento delle nostre competenze in simulazione numerica e strumenti digitali a supporto dell'ingegneria e della progettazione, nelle varie fasi del progetto. Nella prima fase, quando ancora erano in corso le operazioni di bonifica e recupero carburante, il compito era quello di verificare, mediante uno studio di tipo strutturale sulla base dello stesso modello di calcolo usato per il progetto della nave, opportunamente modificato e messo a disposizione da Fincantieri, la robustezza della nave, per assicurare che la stessa non si spezzasse in due per la particolare configurazione in cui si trovava", spiega Codda. Successivamente il Cetena ha eseguito i calcoli strut-



Costa Concordia recovering project. (ph. credit Trevi)



Underwater preliminary anchor tension tests, up to 290 Ton. (ph. credit Trevi)



Parbuckling Concordia. (ph. credit Fagioli)

turali necessari per verificare che le soluzioni ingegneristiche adottate nelle varie fasi del recupero fossero sostenibili, permettendo l'ottimizzazione dei cassoni, delle piattaforme e dei *blister*.

“Nella fase di *parbuckling* – aggiunge Rizzo – in cui i cassoni saldati sulla fiancata emersa del relitto, opportunamente riempiti, dovevano contribuire alla rotazione della nave, andava verificata la forza da imprimere per evitare problematiche strutturali nella fiancata della nave. In quella fase, quindi, abbiamo eseguito delle simulazioni con vari riempimenti e *layout* per trovare le condizioni ottimali”. Proprio da queste simulazioni era emerso che la prua sarebbe stata soggetta a una deformazione tale da rischiare di compromettere l'operazione. “Dai nostri calcoli, è stata valutata la soluzione ingegneristica dei *blister*, una sorta di collare che abbracciasse la prua della nave, fornisce la spinta aggiuntiva necessaria e permettesse di contenere la deformazione della prua entro limiti accettabili”, precisa Codda. La progettazione e la successiva installazione dei *blister*, necessari per effettuare l'operazione in sicurezza ed evitare rotture e collassi nella zona di prua, ha comportato non poche difficoltà data la complessità della zona caratterizzata da forti curvature, risolte grazie alle competenze della Tecon e della Spline. “L'aggiunta di questi ele-

menti, che ha avuto un impatto notevole sul progetto con un aggravio di tempi e costi, ha rappresentato un esempio virtuoso della gestione del progetto e del suo portafoglio, reso possibile dalla disponibilità della Commitenza e dalle tante figure, dalla professionalità ed esperienza non comuni nella progettazione navale, che hanno contribuito alla riuscita delle operazioni, con l'aggiunta di altre professionalità operative che hanno permesso di mettere in pratica le idee dell'ingegneria. **Ogni realizzazione, ogni installazione è stata una sfida nella sfida**, ma è nel DNA del Cetena, la capacità di convogliare e organizzare competenze e risorse di alto livello su tematiche mai di *routine*”, affermano i due tecnici.

GLI ASPETTI GEOTECNICI E LE FONDAZIONI SPECIALI DELL'HOLD BACK SYSTEM

Anche dal punto di vista geotecnico si è trattato di un'operazione senza precedenti, che ha richiesto una spiccata specializzazione e una notevole esperienza nella pianificazione degli interventi per prevenire e risolvere tutte le problematiche connesse alla sua realizzazione. Due le aziende del Gruppo Trevi che hanno partecipato ad alcune delle delicate e importanti fasi del progetto nel periodo compreso tra giugno 2012 e settembre 2013. **RCT, impresa specializzata in indagini**

Geognostiche, che da giugno ad agosto 2012 ha eseguito l'intera campagna di indagini necessaria a definire la struttura geologica del sito, un ammasso roccioso di granito, e **Trevi, impresa specializzata in ingegneria geotecnica e fondazioni speciali**, che ha realizzato gli elementi di ancoraggio costituenti le fondazioni delle strutture metalliche subacquee (*anchor blocks*) utilizzate sia per la messa in sicurezza del relitto (*hold back system*) sia per il successivo montaggio delle torri di ritenuta impiegate per l'operazione di rotazione della nave. “Nel periodo tra agosto 2012 e luglio 2013, nel tratto di mare compreso tra il relitto e l'isola, sono state installate 11 strutture di ancoraggio, costituite da cassoni d'acciaio da 35t, con dimensioni di 2.4 x 4.0 x 1.8 m, attrezzati con i tubi di attesa, del diametro di 350 mm, per l'alloggiamento dei tiranti di ancoraggio della fondazione”, spiega **Tiberio Minotti del Gruppo Trevi**, all'epoca coordinatore del progetto.

“Ogni cassone è stato bloccato al fondale roccioso con 10 ancoraggi precompressi in modo da aumentare l'attrito tra il fondo del cassone e la roccia di fondazione e ottenere così una elevata resistenza alle azioni orizzontali trasmesse dal relitto. I primi 4 blocchi, realizzati con estrema urgenza prima della stagione invernale del 2012, hanno avuto anche l'importante funzione di

stabilizzare lo scafo per evitare l'eventuale scivolamento dello stesso lungo il piano inclinato roccioso su cui era adagiato. Successivamente sono stati installati gli altri 7 blocchi di ancoraggio che hanno completato le fondazioni speciali delle torrette su cui sono stati montati i martinetti idraulici utilizzati durante la successiva fase di rotazione dello scafo”, aggiunge Minotti. Per monitorare l'effettivo carico di ancoraggio, sulle barre centrali di tutti i cassoni è stata installata una cella di carico che, durante il collaudo, era collegata a un *data-logger* singolo per la trasmissione dei dati in tempo reale. Al termine del tensionamento delle barre tutte le celle di carico sono state collegate direttamente a un *data-logger* multiplo (tipo ADK-100) che ogni 5 minuti trasmetteva i carichi misurati dalle celle a una centralina per il controllo del carico sino al completamento dell'operazione di ribaltamento del relitto (*parbuckling*). “Il fattore principale che ha determinato il successo dell'intera operazione – afferma l'ing. Minotti – è stata la perfetta collaborazione e l'efficace coordinamento delle diverse attività che il personale Trevi ha gestito, trasformando questo delicato progetto di ingegneria in una operazione di successo per l'intero Gruppo”.

GLI STRAND JACKS, DETERMINANTI NELLA FASE DI ROTAZIONE DEL RELITTO

La Fagioli, società *leader* a livello internazionale di *engineering* ed esecuzione nei trasporti, movimentazioni speciali, sollevamenti e spedizioni, ha partecipato attivamente fin da subito alle operazioni di messa in sicurezza e recupero dello scafo, fornendo un contributo fondamentale per la definizione del progetto, la relativa ingegnerizzazione ed esecuzione. Il tutto svolto praticamente in parallelo dato il carattere di urgenza, grazie a un *team* costituito da 5 *Project Engineer*, 8 tecnici in sede per la preparazione delle attrezzature, 4 *Operation Manager*, 3 *HSE Officer*, 50 tecnici operativi. **A coordinare il team Fagioli** nella fase iniziale di ideazione e promozione delle soluzioni insieme al *team* del Cliente, e successivamente, con l'incarico di **Project Director**, e una presenza fissa al Giglio in tutte le fasi principali del progetto, **l'ing.**

Paolo Cremonini. “L'operazione, unica nella storia, pensata, progettata ed eseguita in assenza di precedenti esperienze al mondo, nel rispetto delle tre priorità richieste – rispetto dell'ambiente, sicurezza sul lavoro, e protezione delle condizioni socio-economiche del Giglio e dei suoi abitanti – si è sviluppata con il contributo essenziale della Fagioli, in 5 fasi”, spiega Cremonini. **“Nella fase di *stabilization***, con il collegamento dello scafo della nave ad ancoraggi realizzati sul fondo del mare mediante potenti cavi d'acciaio tensionati con *strand jacks*, che hanno evitato che la nave si inabissasse per le eccezionali condizioni meteo-mare nel novembre 2012; **in quella che ha visto la realizzazione dell'*Hold Back System***, il sistema definitivo di ritenuta della chiglia per immobilizzarla e contrastare le forze applicate per la rotazione della nave, con l'installazione di 11 torri tralicciate ancorate al fondo del mare, ciascuna dotata di 2 *strand jacks* collegati a catene di acciaio che hanno abbracciato lo scafo tenendolo in posizione con una capacità totale di 13.200t; **nella fase di *parbuckling***, basata su ingegneria, attrezzature e personale Fagioli, fornendo i 36 *strand jacks* del sistema di rotazione, con una forza max di rotazione del relitto pari a 10.800t; **in quella di *refloating***, in cui i 15 cassoni di destra sono stati collegati allo scafo con 96 *strand jacks* con una capacità complessiva di sollevamento della nave 60.000t. Il rigalleggiamento è durato varie settimane attraverso molti step di sollevamento, per controllo assetto e completamento della configurazione del fissaggio dei cassoni”. Al termine del rigalleggiamento, dopo un controllo generale di attrezzature e assetto finale dello scafo, la nave ha iniziato la navigazione dal Giglio a Genova e vari responsabili, tra cui i tecnici Fagioli, sono rimasti a bordo per il controllo continuo degli *strand jacks* che ne garantivano la stabilità e l'assetto. “Fagioli – aggiunge Cremonini – ha eseguito anche il supporto logistico con preparazione a terra presso varie aree portuali italiane delle attrezzature del progetto e il loro trasferimento al Giglio, per effettuare attività in parallelo e a terra, riducendo la schedula del progetto e i rischi connessi a *segue a pag. 10*”

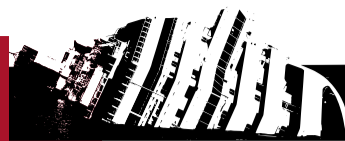


Hold back system Concordia. (ph. credit Fagioli)



Stabilization Concordia. (ph. credit Fagioli)

SPECIALE / COSTA CONCORDIA



Refloating Concordia. (ph. credit Fagioli)

continua da pag. 9
operazioni in mare aperto”.

LO STUDIO DEI CASSONI

La società Spline si è occupata della parte più prettamente navale del progetto, di come ridare spinta idrostatica al relitto, attraverso lo studio dei cassoni di spinta con sistema impiantistico ad aria compressa, dei calcoli di stabilità e galleggiamento. “La Spline – spiega Scaglioni – ha contribuito anche alle fasi concernenti le verifiche strutturali della cosiddetta **trave scafo** durante le fasi di rigalleggiamento e navigazione, per prevenire eventuali rotture dello scafo, e alle verifiche di stabilità del sistema **scafo più cassoni**, analizzando anche vari scenari di possibili falle nei cassoni, per assicurare che lo stesso non affondasse di nuovo, interfacciandosi continuamente con il *team* di ingegneri e tecnici del Cetena”. Tutto è stato elaborato sulla base dei calcoli forniti dal Cetena, che sono stati analizzati da entrambe le società. “Dalla valutazione di quanta spinta fornire sono derivati sia il numero che le dimensioni dei cassoni installati sui fianchi del relitto per consentire il rigalleg-

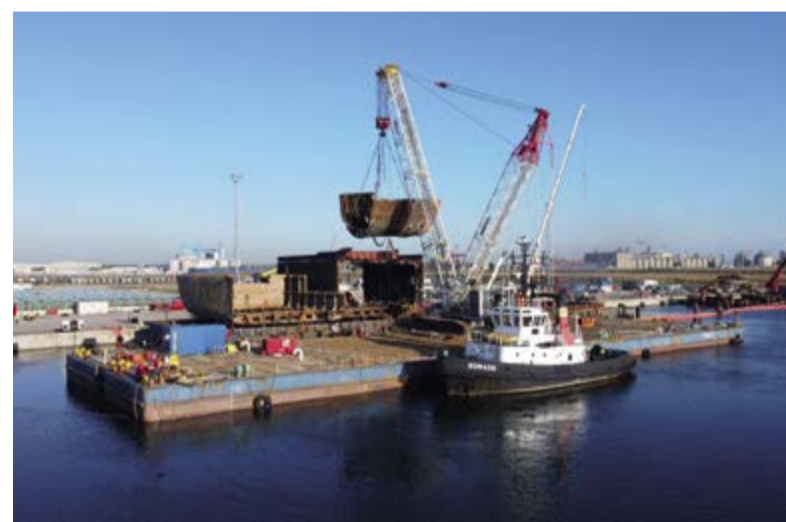
giamento. Nella prima fase i cassoni, saldati con apposite strutture di interfaccia sulla murata di sinistra, sono serviti come punti di forza in cui ancorare gli *strand jacks*, i martinetti idraulici a recupero di cavo e, una volta entrato in autorotazione il relitto, sono invece serviti come elementi frenanti per la sua caduta in acqua. Aggiungendo man mano peso, ovvero acqua nei cassoni, il relitto è stato lentamente poggiato sulle piattaforme. Sulla murata di destra, lato di terra dello scafo, per il posizionamento dei cassoni sono stati realizzati dei sistemi di aggancio meccanico per mezzo di catene che passando sotto la chiglia nella zona centrale dove il relitto non era a contatto col fondo, hanno permesso l'aggancio dei cassoni sul lato destro. In totale sono serviti 15 cassoni per lato, ciascuno di 10,5 x 11,5 m di base e altezze di 21 e 31 m. Oltre a fornire la spinta idrostatica, i cassoni avevano il compito di dare stabilità trasversale al **sistema nave-cassoni** nella fase di galleggiamento, mentre volutamente non dovevano contribuire alla robustezza longitudinale della trave scafo, per questo erano separati l'uno dall'altro”, spiega Scaglioni.

Una fase delicata, ma necessaria per assicurarsi che la nave non si spezzasse al momento del riassetto è stata quella dell'aggiunta dei blister. “I sostegni sulla prua della nave, con il compito di sostenerla durante la rotazione, erano necessari per evitare il cedimento per taglio del relitto, le cui sezioni resistenti, una volta raddrizzata la nave, erano rappresentate solo dalle due murate e da alcune paratie longitudinali interne. I *blister* erano larghi 35 m, alti 21 m, lunghi 23 m e dovevano essere sagomati per aderire alla prua come un collare cervicale. Il loro posizionamento, studiato dalla Tecon, ha rappresentato una delle fasi più complicate del salvataggio; sono stati dapprima immersi e poi fatti lentamente scivolare al di sotto della nave. Alla fine di agosto 2013, montati i cassoni sulla murata di sinistra e i sostegni di prua, vennero applicati i cavi che dovevano ruotare la nave collegati alle piattaforme sottomarine”, conclude Scaglioni.

L'OPERAZIONE DI TRASFERIMENTO FINALE
Il trasferimento della nave è stato gestito da Titan-Micoperi, con le autorizzazioni e la super-

visione della Guardia Costiera italiana. La **demolizione e il riciclo del relitto**, invece, sono stati effettuati dal consorzio Saipem e San Giorgio del Porto e sono terminati nel luglio 2017. Le operazioni, iniziate nel porto di Genova Voltri, sono proseguite nell'area dell'ex Superbacinio del porto di Genova, per terminare nel bacino di carenaggio numero 4 delle Riparazioni Navali. “Anche questa fase ha comportato una serie di sfide da affrontare”, ha commentato Codda del Cetena. “La progressiva sottrazione di elementi strutturali dal re-

litto ha richiesto una verifica continua della resistenza della nave e lo studio di una serie di configurazioni intermedie, man mano che si smantellavano i ponti a partire dall'alto, per assicurare che la nave non subisse ulteriori danneggiamenti. Per questo sono stati installati dei sensori estensimetrici, per misurare la deformazione dello scafo e monitorare il comportamento della nave dal punto di vista strutturale”. Alla fine delle operazioni è stato recuperato e riciclato quasi il 90% dei materiali, pari a oltre 53 mila tonnellate.



Fase rimozione relitto Berkan B. (ph. credit Fagioli)



Concordia sailing to Genoa. (ph. credit Fagioli)