

# PPF<sup>®</sup>

# Rivista Italiana delle Perforazioni & Fondazioni

More info:



> **GEOTECNICA**

Ricerca e sviluppo  
nell'ingegneria geotecnica

> **TERRITORIO**

Difesa del suolo:  
gestione e interventi

> **ATTREZZATURE**

Sinergia  
per le gallerie

> **GRANDI OPERE**

La Galleria di  
Base del Brennero

> **DAL CANTIERE**

Fondazioni speciali  
per la Costa Concordia

## FRANA

VAL MASO Provincia di Vicenza

Area: m<sup>2</sup> 7.200

Volume: m<sup>3</sup> 108.000

Ancoraggi flottanti:  
N° 28 da 2000 kN

autoperforanti  
**SIRIVE<sup>®</sup>**

autoperforanti  
**SIRIVE<sup>®</sup>**  
[www.sirive.it](http://www.sirive.it)

**ANCORAGGIO FLOTTANTE<sup>®</sup>**  
**SIRIVE<sup>®</sup>**  
[www.ancoraggioflottantesirive.com](http://www.ancoraggioflottantesirive.com)

Barre Autoperforanti conformi alle N.T.C., D.M.14-01-2008

# Fondazioni speciali per il recupero della Costa Concordia

**È stato uno dei casi più discussi degli ultimi tempi. Finalmente quest'anno si sono concluse le operazioni di recupero del relitto. Quest'articolo descrive le attività realizzate dal Gruppo tra l'agosto 2012 e il settembre 2013 per la stabilizzazione e la rotazione della nave Costa Concordia all'Isola del Giglio**



**L'**attività principale per quanto riguarda il recupero del relitto della Costa Concordia è stata l'installazione e la precompressione delle barre verticali di ancoraggio per il collegamento al fondale roccioso dei cassoni di fondazione delle torri di ritenuta, in modo da aumentare l'attrito tra cassoni e roccia e ottenere un'elevata resistenza alle forze orizzontali trasferite dal sistema di ritenuta (*hold back system*) e dalle operazioni di rotazione e raddrizzamento del relitto (*parbukling*). Tutte le attività citate, che hanno richiesto lo sviluppo di azioni speci-

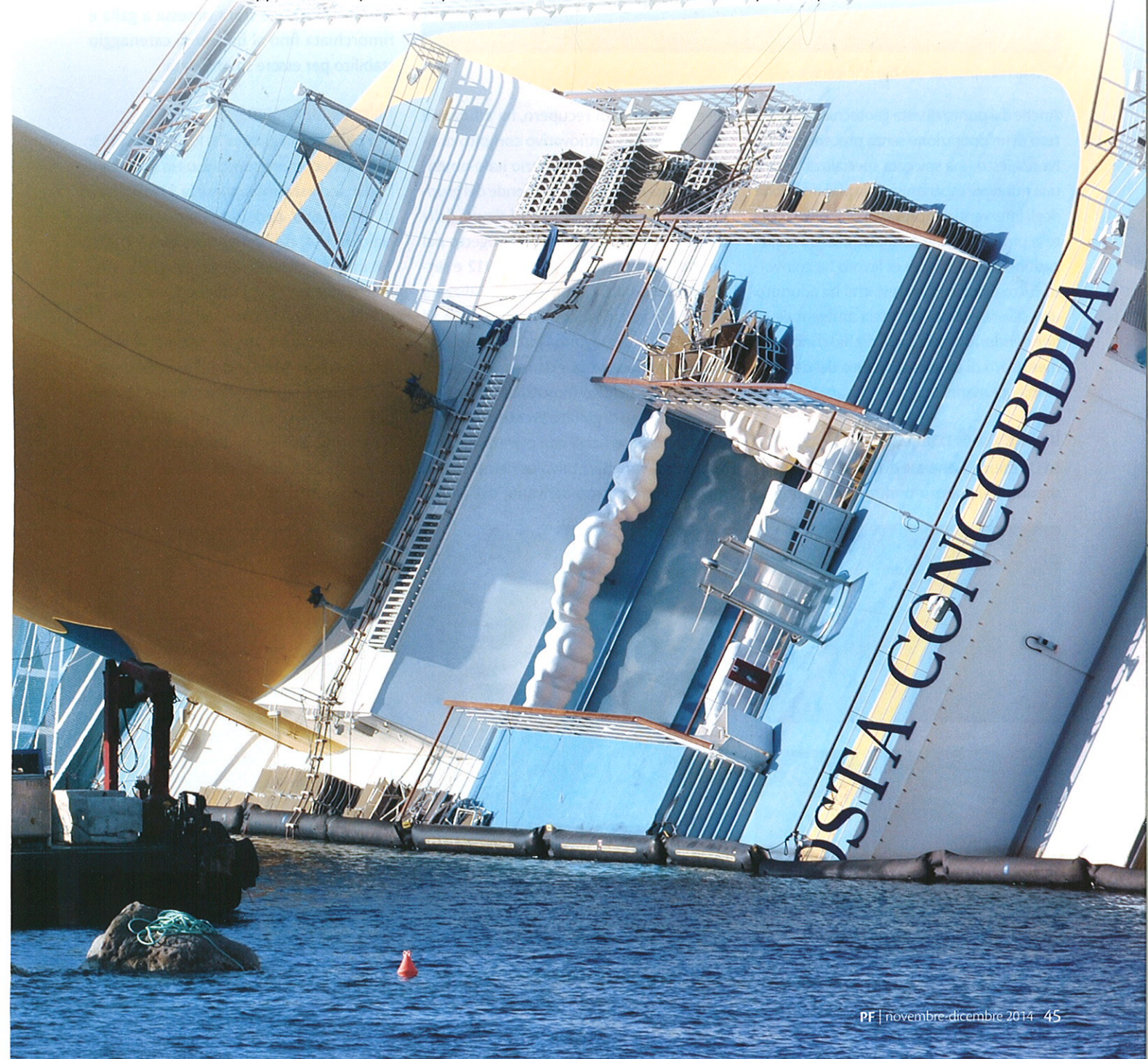
fiche atte a minimizzare il rischio di inquinamento e di danno al delicato ambiente marino circostante, sono state portate a termine con successo nel pieno rispetto delle richieste progettuali e dei tempi previsti.

### **Gli interventi nel dettaglio**

A seguito dell'incidente della Costa Concordia, semiaffondata e adagiata a mezzacosta sul fondale roccioso presso l'Isola del Giglio (13 gennaio 2012), il Gruppo Trevi è stato impegnato fin dalle prime fasi del progetto di recupero del relitto. Nei giorni successivi all'evento, le 2.380 t di carburante presenti a bordo della nave al momen-

to dell'impatto dello scafo con gli scogli "Le Scole" sono state rimosse in modo da salvaguardare il delicato ecosistema marino dell'arcipelago toscano.

Al termine di quest'operazione è iniziata la fase di studio, progettazione ed esecuzione di tutte le opere ingegneristiche atte al recupero del relitto, avente lunghezza di circa 290 m, larghezza di circa 35 m e dislocamento di circa 56.000 t. Le dimensioni dello scafo, la sua posizione rispetto alla costa e i rischi connessi alla rimozione sono stati degli elementi distintivi che hanno reso tale operazione di recupero una delle più complesse mai tentate.





Geometria tipica dei cassoni di ancoraggio

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. L'insolita area di lavoro ha coinvolto tutto il personale Trevi, che ha adottato una severa politica di tutela ambientale, al fine di ridurre al minimo il rischio d'inquinamento e/o di danneggiamento del delicato ambiente marino.

### Il progetto di recupero

La Direzione Generale di Costa Crociere, in seguito a un'approfondita valutazione di

diversi progetti di recupero, ha affidato il delicato, arduo e innovativo compito di rimuovere il relitto al consorzio italo-americano Titan-Micoperi. Due aziende del gruppo Trevi 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 (costituita da un ammasso roccioso di granito avente un sistema di fratture superficiali con orientamento e spaziatura variabile, talvolta riempite con materiale grossolano derivante dall'altera-

zione della roccia superficiale e avente una inclinazione media variabile da 20° a 45°); 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 (*Parbuckling*). Terminata l'operazione di parbuckling, con il relitto riportato in asse verticale e in grado di galleggiare nuovamente grazie all'impiego di cassoni montati lungo le murate, la nave è stata rimessa a galla e rimorchiata fino al bacino di carenaggio stabilito per essere smantellata.

### I blocchi di ancoraggio

Nel periodo tra agosto 2012 e luglio 2013, nel tratto di mare compreso tra il relitto e l'isola, sono state installate le 11 strutture di ancoraggio, costituite da cassoni d'acciaio da 35 t, con dimensioni di 2,4 x 4,0 x 1,8 m, attrezzati con i tubi di attesa (diametro 350 mm) per l'alloggiamento dei tiranti ancoraggio della fondazione. 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 un'elevata resistenza alle azioni orizzontali trasmesse dal relitto. I primi quattro blocchi, realizzati con estre-



Fasi di perforazione



ma 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 sette 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 (fase di *parbuckling*).

L'installazione dei blocchi di ancoraggio può essere suddivisa nelle seguenti cinque fasi: posa del cassone previa preparazione del piano di appoggio; prima fase d'iniezione di riempimento del cassone; perforazione e installazione delle barre di ancoraggio; completamento dell'iniezione di riempimento del cassone; tesatura delle barre di ancoraggio.

Le operazioni di posa in opera dei cassoni e di preparazione del piano di appoggio attraverso la demolizione della parte superficiale di roccia e la rimozione degli eventuali blocchi di granito presenti sul fondale marino sono state eseguite da Titan-Micoperi operando dal pontone di servizio. Tutte le altre fasi operative sono state eseguite direttamente da personale Trevi, utilizzando attrezzature Soilmec posizionate sopra il pontone Navalmare2, con l'assistenza dei sommozzatori per le varie attività subacquee.

### Iniezioni di riempimento dei cassoni

L'esecuzione dell'iniezione di riempimento dei cassoni è stata eseguita in due fasi: la prima immediatamente dopo la posa del cassone, per minimizzare eventuali futuri movimenti dello stesso; la seconda al termine dell'installazione di tutti i tiranti di ancoraggio, per sigillare e rendere monolitico il cassone.

Nella prima fase ogni cassone è stato riempito fino a circa 80 cm al di sotto della sua piastra superiore, in modo da garantire la sigillatura del tubo centrale (n. 5), che era più corto degli altri nove. Il riempimento è stato eseguito con un tubo da 2" dotato di valvole idrauliche, posto all'interno del foro centrale. Per evitare qualsiasi fuoriuscita di miscela dalla base del cassone, quest'operazione è stata eseguita in due-tre fasi. Il graduale innalzamento del livello della miscela cementizia all'interno del cassone è stato monitorato

continuamente con un densimetro graduato. Nella seconda fase, dopo l'installazione delle 10 barre di ancoraggio, il riempimento del cassone è stato completato attraverso i due tubi da 2" posizionati nella parte superiore del cassone stesso. Per garantire il loro completo e perfetto riempimento nei cassoni erano stati predisposti due tubi di ingresso (uno sulla faccia superiore ed uno sulla faccia est, lato mare) e due tubi di uscita della miscela. Inoltre, sulla faccia superiore erano presenti otto tubi di sfato per assicurare la fuoriuscita dell'aria presente all'interno del cassone. In questa fase i sommozzatori erano pronti con dei tappi in legno da applicare ai tubi di sfato, non appena si evidenziava la fuoriuscita di miscela dai cassoni.



Barre di ancoraggio e relativa installazione

### Le barre di ancoraggio

Ogni cassone è stato "bloccato" sul fondale marino con 10 barre di ancoraggio aventi le seguenti caratteristiche tecniche principali: diametro di perforazione 200 mm; lunghezza totale di 15÷19 m; lunghezza tratto attivo (ancoraggio) di 3÷5 m; diametro delle barre di armatura di 63,5 mm; carico massimo di progetto pari a 1.750 kN.

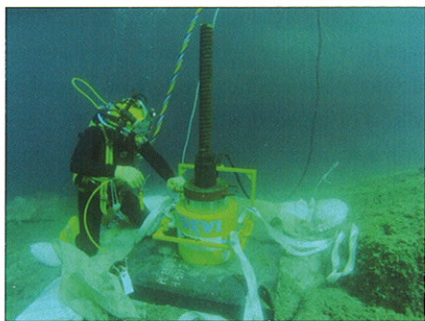
Le perforazioni per l'installazione delle barre di ancoraggio, realizzate con un'attrezzatura idraulica Soilmec SM-21 posizionata sul pontone flottante ormeggiato tra il relitto e la costa, sono iniziate dopo alme-

no tre giorni il completamento della prima fase di iniezione del cassone, per dar modo alla miscela di raggiungere un adeguato grado di indurimento.

Prima di iniziare con la perforazione vera e propria - che è stata realizzata con un martello a fondo foro azionato ad acqua tipo Wassara W150, tra il pontone e il fondale marino, situato a profondità variabile tra 10 e 20 m - è stato posizionato un tubo di rivestimento con diametro di 244 mm. Tale tubo, sigillato alla sommità del cassone e incastrato per circa 50 cm nella roccia di fondo, oltre che a guidare la batteria di aste è servito anche per convogliare il fango e i detriti di perforazione all'interno di una vasca di raccolta ubicata sul pontone.

A perforazione ultimata, il foro è stato lavato fino a ottenere una fuoriuscita di acqua chiara, in modo da garantire la completa rimozione dei detriti di perforazione che avrebbero potuto depositarsi e pregiudicare le prestazioni dell'ancoraggio.

Successivamente la barra di armatura è stata inserita all'interno del foro e, immediatamente dopo quest'operazione, il foro è stato iniettato dal fondo fino a 3 m sotto la base del cassone, in accordo alle specifiche di progetto. L'armatura era costituita da barre di acciaio tipo SAS 670/800, con diametro di 63,5 mm, filettate per tutta la loro lunghezza.



Prova di carico preliminare e risultati ottenuti

Un sacco otturatore è stato utilizzato per isolare il tratto passivo dal tratto attivo. In corrispondenza del tratto passivo la barra era protetta da una guaina liscia in HDPE, per ridurre al minimo l'attrito con la miscela. Per facilitare le operazioni di iniezione gli ancoraggi erano dotati di cinque tubi di plastica con diversi colori, rispettivamente per l'iniezione e lo sfato del sacco otturatore, l'iniezione e lo sfato del tratto attivo, l'iniezione del tratto passivo. La miscela d'iniezione, sia per l'iniezione degli ancoraggi che per il riempimento dei cassoni, era composta da acqua, cemento e additivo fluidificante (è stato utilizzato un rapporto A/C = 0.45, un peso della miscela di 1,85 t/m<sup>3</sup> e una viscosità Marsh variabile da 45 a 50 secondi). I parametri d'iniezione (pressione e volume iniettato) erano raccolti e registrati da un sistema di acquisizione automatico che inviava, in tempo reale, tutti i dati alla Direzione Lavori.

Per verificare le assunzioni progettuali e ottimizzare le tecniche di perforazione e d'iniezione degli ancoraggi sono stati realizzati tre ancoraggi di prova utilizzando barre con dia-

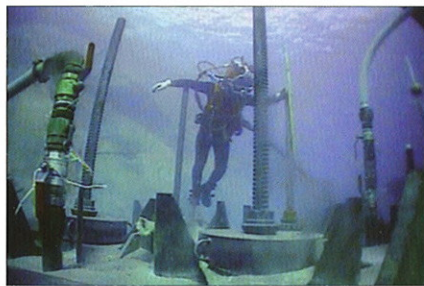
metro maggiore (75 mm) e il tratto attivo minimo (3 m). Le prove spinte fino a un carico di 2.667 kN hanno mostrato un comportamento pressoché elastico fino al massimo carico di prova e un valore dell'attrito tra la roccia e l'ancoraggio di oltre 1.400 kPa, superiore al valore di progetto (1.300 kPa).

### Tesatura delle barre di ancoraggio

Una volta completata l'iniezione di riempimento del cassone le 10 barre di ancoraggio sono state tesate. Questa complessa operazione è iniziata almeno sette giorni dopo l'installazione dell'ultimo ancoraggio. In accordo con le "Raccomandazioni AICAP per i Tiranti di Ancoraggio" e alle richieste del progettista, ogni singolo ancoraggio è stato collaudato fino al 110% del carico di progetto ( $N_Q = 1.750 \text{ kN}$ ).

$$N_T = 1.10 \times N_D = 1.10 \times 1750 = 1.925 \text{ kN}$$

La fase di collaudo e di messa in tensione delle 10 barre di ogni cassone è stata effettuata utilizzando altrettanti martinetti



La tesatura delle barre di ancoraggio con i martinetti Acqua Jack

ti idraulici tipo "Acqua Jack" collegati tra loro, che hanno permesso la simultanea tesatura di tutte le barre, garantendo così - oltre all'elevata precisione di applicazione del carico - una semplice e rapida esecuzione della tesatura (questa delicata fase è stata supervisionata dai tecnici Trevi, che hanno coordinato il proprio personale, addetto all'utilizzo delle pompe idrauliche poste sul pontone, con i sommozzatori specializzati della Titan-Micoperi).

Al termine del tensionamento ogni barra è stata serrata al carico di servizio di 1.750 kN. Al fine di monitorare l'effettivo carico di ancoraggio, sulle barre centrali (n. 5) 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 cinque minuti trasmetteva i carichi misurati dalle celle a una centralina per il controllo del carico, fino al completamento dell'operazione di ribaltamento del relitto (*parbuckling*)

Durante le 19 ore di rotazione del relitto, avvenuta il 16 settembre 2013, due tecnici specializzati Trevi hanno seguito le operazioni monitorando i carichi trasmessi dalla nave alle strutture di ancoraggio e interfacciandosi con i tecnici Titan-Micoperi all'interno della "Decision Room".

### Conclusioni

L'installazione dei cassoni di ancoraggio per la messa in sicurezza e il recupero del relitto della Costa Concordia all'Isola del Giglio è stata eseguita da Trevi in collaborazione con il Consorzio Titan-Micoperi. Tutte le barre di ancoraggio sono state installate e collaudate con successo fino al carico di prova, nel rispetto delle richieste progettuali, dei tempi previsti e del delicato ambiente naturale in cui si è operato. Il fattore principale che ha determinato il successo dell'intera operazione 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. ■



Il relitto della Costa Concordia dopo la rotazione