

esplosivi**demolizione
&
riciclaggio**

Uno spettacolare intervento di demolizione subacquea con l'impiego di esplosivo, per abbattere un muro in calcestruzzo nel porto industriale di Livorno

di Roberto Folchi,
Luca Ferraglio, Matteo Canu

Acqua e fuoco



Demolizione con l'uso di esplosivo: una professionalità specifica che richiede esperienza, sicurezza e qualità e offre possibilità non paragonabili ad interventi con altre tecniche e metodologie. Un tema oggi al centro dell'attenzione nel settore e attorno al quale la comunità internazionale degli addetti ai lavori sta discutendo per portare a termine il progetto EU-Excert che si pone l'obiettivo di

definire gli standard di qualità e certificare la formazione professionale degli addetti ai lavori a qualsiasi livello. E per maggiori informazioni sul progetto EU Expert: Certifying Expertise in European Explosives Sector si veda "Qualità ed esplosivi", su **COSTRUZIONI** n. 578 del gennaio 2005 a pag. 64 e seguenti oppure si rimanda al sito web: www.euexcert.org. Abbiamo chiesto al partner italiano del progetto EU-Excert, la Nitrex, con sede a Sirmione del Garda, di illustrare per **COSTRUZIONI** un caso concreto di intervento controllato di esplosione di microcariche nel settore della demolizione di vecchie strutture edili. L'articolo che segue è la collaborazione di Nitrex, nelle persone dell'ing.

ROBERTO FOLCHI e del perito industriale **LUCA FERRAGLIO**, con l'ing. **MATTEO CANU** dell'impresa Pietro Cidonio di Roma che hanno progettato e realizzato lo spettacolare intervento al Porto di Livorno.

■ ■ Al porto di Livorno

Per i lavori di ampliamento della calata Bengasi nel porto industriale di Livorno, è stato necessario effettuare la demolizione del relitto sommerso del vecchio muro di contenimento della banchina. La presenza della nuova banchina in esercizio a breve distanza (da 0 sino a 26 m), ha imposto l'adozione di precauzioni per il contenimento delle sollecitazioni indotte dal brillamento. In particolare è stato necessario progettare la volata in modo che le onde sismiche e le onde di sovrappressione in acqua fossero contenute entro predefiniti valori di sicurezza fissati con riferimento alla normativa ed allo stato dell'arte. L'esecuzione dei lavori ha richiesto un preciso coordinamento con le autorità portuali per minimizzare le soggezioni indotte all'esercizio del porto, garantendo, nel contempo, un'area di sicurezza intorno al cantiere. I lavori di demolizione hanno interessato il relitto sommerso di una banchina, un muro in cls dal contorno superiore irregolare a quota tra i -3 e i -5 metri. Per questo manu-

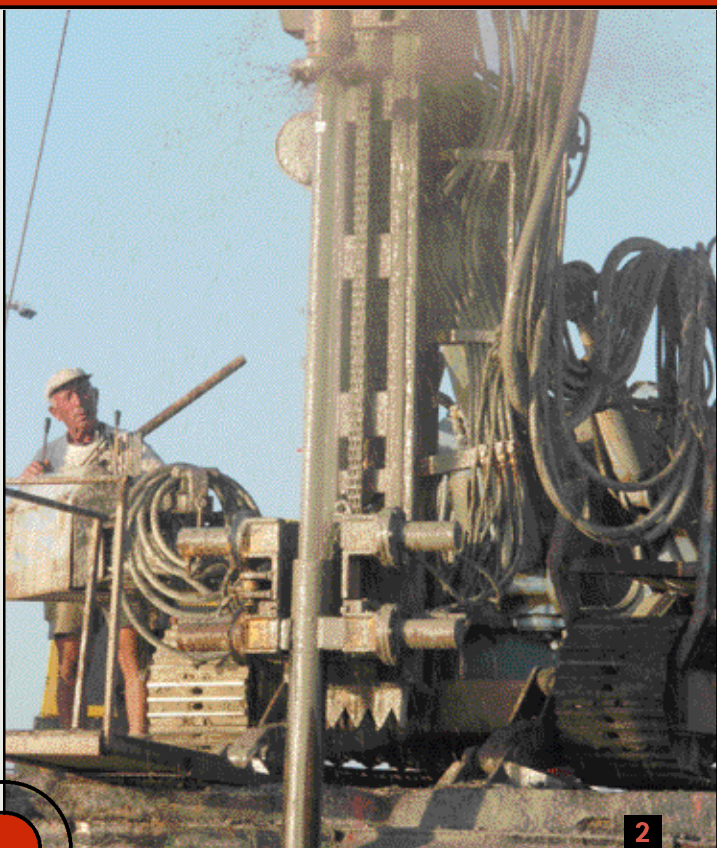
fatto, realizzato intorno agli anni '20-'30, non è stato possibile acquisire dati inerenti alla progettazione ed all'esecuzione dei lavori. Dall'analisi dei frammenti di un primo tratto di banchina già demolito con maglio è stato possibile rilevare caratteristiche disomogenee del conglomerato con almeno 4 tipologie differenziate per granulometria e forma degli inerti e per qualità della matrice cementizia. Le caratteristiche meccaniche dei frammenti di cls di tutte le 4 tipologie si presentavano come buone, con inerti saldamente inglo-

bati alla matrice. In fase di progettazione della volata, facendo riferimento a precedenti lavori di demolizione di analoghe strutture realizzate nello stesso periodo storico, sono state ipotizzate, anche nell'ambito della stessa tipologia di cls, disomogeneità di caratteristiche meccaniche con giunti freddi a piani inclinati sino a 30°, inerti affogati da matrice compatta a fondo getto, monogranulari, segregati ed avvolti da poca matrice in testa al getto. Nel mucchio di materiale frammentato furono rilevati alcuni ferri d'armatura lisci con dia-

Una volata subacquea

La volata è stata progettata in modo che la sollecitazione massima e l'impulso indotto nelle due banchine fossero contenuti entro valori che garantissero la non insorgenza di lesionamento tale da ridurne la funzionalità. La verifica è stata fatta preventivamente con approccio parametrico [UNI 9916, 2004; DIN 4150 -3, 1999]. L'approccio metodologico seguito per la progettazione e l'autorizzazione dei lavori è stato collaudato in numerose commesse di demolizione con esplosivi in aree antropizzate. In particolare è stata eseguita una progettazione di dettaglio con indicazione dello schema di volata, degli esplosivi e degli accessori da impiegare, delle modalità operative da seguire per l'esecuzione dei lavori, controlli, sicurezze e monitoraggio strumentale. La foto mostra la traccia a pelo d'acqua della banchina sommersa da demolire.

La perforazione dei fori da mina è stata eseguita da pontone con perforatrice OD. I fori sono stati incamiciati con canna chiusa. Dell'esecuzione dei lavori è stato dato annuncio, mediante volantini, al personale operante all'intorno del cantiere oltre che ai residenti delle prime abitazioni.



2



1

figura 1 Brillamento della volata a ridosso della banchina

figura 2 Perforazione dei fori da mina nella vecchia banchina in cls

figura 3 Panoramica del Porto di Livorno e traccia della banchina da demolire

metro 20 mm e 6 mm la cui presenza è stata ipotizzata come puntuale, verosimilmente per locale consolidamento in seguito a danneggiamento per urto o bombardamento. Allineata, a Nord, ad una distanza media di 26,50 m dal manufatto da demolire, si trovava la nuova banchina realizzata con palancole infisse e tirantate con funi d'acciaio fissate su bulbi iniettati di cls e travi tozze in c.a. a coronamento. A circa 70 m si trovava la vecchia banchina lato Sud, di caratteristiche analoghe a quella da demolire.

■ ■ Esecuzione della demolizione subacquea

I fori da mina sono stati realizzati mediante una perforatrice OD piazzata su pontone semovente.

I fori sono stati intubati con canne chiuse.

La demolizione è stata eseguita con cartucce di dinamite in colonna di carica continua. L'innesco è stato effettuato a fondo foro con doppio detonatore TCO (tubo conduttore d'onda). L'utilizzo del doppio detonatore, oltre alla minimizzazione dei rischi di colpo mancato per danneggiamento o difettosità del detonatore, ha comportato la riduzione dello scarto del tempo reale di detonazione rispetto al tempo nominale (tra i due detonatori parte per primo sempre il più veloce). Per la minimizzazione dell'impatto indotto all'intorno e per la massimizzazione della frantumazione è stato previsto il brillamento sequenziale di ciascuna carica. La successione del brillamento è stata realizzata con detonatori-connettori TCO a ritardo 25 ms, accoppiati ai detonatori in superficie con progressione: foro lato banchina nuova; foro lato mezzeria canale. Per minimizzare i rischi d'interruzione della linea di tiro per danneggiamento o difettosità, il circuito in superficie dei detonatori-connettori è stato realizzato doppio. I fori non sono stati borati. La presenza di acqua costituisce infatti un confinamento sufficiente alla massimizzazione dell'azione dei gas d'esplosione sulle pareti del foro riducendo l'effetto del disaccoppiamento carica-foro (rapporto tra diametro del foro e diametro della cartuccia). Il tratto superiore di foro scarico e l'interasse sono stati determinati in modo da minimizzare il rischio di innesco per concussione delle cariche adiacenti. La successione di colpo di 25 mm ha consentito di minimizzare l'effetto di sovrapposizione delle sollecitazioni sulla prospiciente paratia per le onde sismiche e per l'onda di sovrappressione in acqua conseguenti all'esplosione in successione dei singoli fori. Per ridurre di circa 1/10 le pressioni indotte sulle paratie è stato interposto un muro di bolle con rilascio di $0,004 \text{ m}^3/\text{s}$ per metro lineare di tubo [Langefors, 1973]. La presenza di muro a bolle ha anche allontanato la flora marina. La demolizione è stata completata in quattro giorni nonostante qualche giornata di non buone condizioni atmosferiche.



⊙ Parametri della volata di demolizione								
K	ALTEZZA DELLA TRANCIA	5,00		4,50		4,00		M
I	INCLINAZIONE FORO SULL'ORIZZONTALE	90						
∅	DIAMETRO FORO (RIVESTIMENTO CON CANNA PVC DIAMETRO INTERNO 78 MM ESTERNO 80 MM)	89						MM
H	LUNGHEZZA FORO	5,00		4,50		4,00		M
V	SPALLA D'ABBATTIMENTO PRATICA	2,30						M
E/V	RAPPORTO INTERASSE/SPALLA	2,00						
E	INTERASSE TRA I FORI	4,60						M
	VOLUME D'INFLUENZA DEL FORO	53						M ³
E	ESPLOSIVO IN FORO DINAMITE GOMMA							
	LUNGHEZZA MEDIA DELLE CARTUCCE L	0,38	0,42	0,38	0,42	0,38	0,42	M
	DIAMETRO MEDIO DELLE CARTUCCE ∅	70	60	70	60	70	60	MM
	PESO MEDIO CARTUCCIA	2,1	1,7	2,1	1,7	2,1	1,7	KG
	ENERGIA SPECIFICA D'ESPLOSIONE	4,5						MJ/KG
	DISACCOPIAMENTO CARTUCCE-FORO	0,38	0,55	0,38	0,55	0,38	0,55	
EN	NUMERO DI CARTUCCE IN FORO	10,0	9,5	8,8	8,4	7,5	7,3	
Hb	LUNGHEZZA BORRAGGIO	1,00	0,80	1,00	0,80	1,00	0,80	M
	ACCORCIAMENTO CARTUCCE DI ESPLOSIVO IN FORO	-5%						
HE	LUNGHEZZA CARICA IN FORO	3,8	5,2	3,3	4,6	2,9	4,0	M
QE	QUANTITÀ DI ESPLOSIVO IN FORO	20,9	15,9	18,3	14,0	15,7	12,1	KG
QPSP	PERFORAZIONE SPECIFICA	0,09						M/M ³
QESP	CONSUMO SPECIFICO ESPLOSIVO	0,40	0,30	0,38	0,294	0,37	0,29	KG/M ³
		1,78	1,35	1,73	1,32	1,67	1,29	MJ/M ³
QD	NUMERO DI DETONATORI PER FORO	4						N
QDSP	CONSUMO SPECIFICO DETONATORI	0,08						N/M ³

■ ■ Monitoraggio strumentale

A verifica delle condizioni di sicurezza attinte è effettuato il controllo strumentale delle vibrazioni indotte nei manufatti all'intorno con riferimento alle norme UNI 9916 alle DIN 4150-3 ed allo stato dell'arte [Harris 1995].

Il monitoraggio è stato eseguito mediante quattro centraline MiniGraph 7000 della NOMIS Inc., USA, equipaggiate con velocimetro triassiale per la misura della componente verticale, orizzontale trasversale e longitudinale di velocità di vibrazione del terreno al passaggio dell'onda sismica (caratteristiche tecniche in sito www.mediterranea-esplosivi.it - Prodotti - Monitoraggio - Scheda

Prodotto). Le prime misure sono state eseguite anche con un velocimetro fondo foro (DTH) collocato in un foro da mina del manufatto da demolire, a 10 m di distanza dalla volata. Dai risultati del monitoraggio è stato possibile dare evidenza documentale dell'avvenuto brillamento di tutte le cariche in successione e nel rispetto delle previsioni progettuali in merito alle sollecitazioni indotte nei manufatti da salvaguardare. Noti i valori di velocità di vibrazione nei punti di misura e le relative distanze dal punto di sparo, è stato possibile calcolare per interpolazione i valori di velocità di vibrazione indotti anche in punti diversi da quelli di misura. ⊙

Sequenza operativa

La sequenza della volata subacquea al porto di Livorno.
Caricamento della volata

Nella foto 4, il caricamento della volata. La colonna di carica è stata innescata a fondo foro con doppio detonatore a tubo conduttore d'onda ed in superficie con doppio detonatore connettore per un brillamento sequenziale di ciascuna carica con intervallo di 25 ms. Completamento del circuito di tiro; brillamento sequenziale delle cariche (intervallo di colpo 25 ms) e colonna d'acqua per la risalita dei gas d'esplosione con trascinamento verso l'alto del limo di fondo. La grafica infine mostra la colonna d'acqua per il brillamento ed emersione delle bolle d'aria per i due "muri a bolle" realizzati verso la nuova banchina e verso la vecchia



4



5

figura 4
Caricamento
della volata
figura 5
Completamento
del circuito di tiro
figura 6 Risalta
del gas
di esplosione



6

© Fattori d'impatto per le demolizioni subacquee

Alle demolizioni subacquee possono essere generalmente associati i seguenti fattori d'impatto:

onde sismiche ovvero vibrazioni indotte nel terreno (rischio per i manufatti);

onda di sovrappressione in acqua (rischio per le persone in acqua, per i manufatti in acqua e per la fauna marina);

onda di sovrappressione in aria (nel caso di demolizioni prossime alla superficie, rischio per le persone);

lancio di materiale (nel caso di demolizioni prossime alla superficie, rischio per le persone);

rilascio di gas pericolosi NO_x, CO_x, ecc. (rischio per le persone e per la fauna marina);

creazione di crateri nelle formazioni sabbiose / argillose vicine, ovvero alterazione della morfologia del fondo (rischio per i natanti);

fratturazione indotta oltre il profilo finale di scavo (rischio per i manufatti).

I primi due fattori d'impatto sono stati considerati rilevanti per il lavoro di demolizione nel porto di Livorno, e la progettazione è stata mirata per il loro contenimento.

Per la previsione delle onde sismiche indotte dalla demolizione è stata adottata la legge di decadimento:

$$v_{R,U,T} (50\%) = 691 * DS^{-2,17}$$

(dove "v_{R,U,T}" - componente orizzontale Radiale, Verticale o orizzontale trasversale della velocità di vibrazione al passaggio del transiente sismico - è data in mm/s e DS in m/MJO,362), calcolata in un lavoro di abbattimento controllato con esplosivi, da misurare effettuate per distanze e cariche confrontabili [NITREX, rif. int. 02-047].

Per la previsione delle onde di sovrappressione in acqua sono state adottate le seguenti leggi di decadimento:

$$P = 27.150 * DS^{-1,22} \text{ (dove "P" - picco di pressione dell'onda di sovrappressione in acqua) è dato in psi e DS in ft/lb1/3) ed}$$

$$I/Q1/3 = 1,45 * DS^{-0,92} \text{ (dove "I/Q1/3" - impulso scalato sulla radice cubica della carica) è dato in psi * secondo / b1/3 e DS in ft/lb1/3} [Young 1973].$$