

Nota tecnica

Sbancamento subacqueo con esplosivi Scavo di una trincea subacquea per la posa di una condotta a Borgo S. Elia (Cagliari)

R. FOLCHI, A. TURNO, E. LORU*

SOMMARIO: Nella presente nota è riportato un resoconto dei lavori di scavo di una trincea subacquea per la posa di una condotta fognaria. All'interno dell'area dei lavori si trovavano numerose abitazioni civili ed una antica torre d'avvistamento. Particolare cura, sia in fase di progetto che nel corso dei lavori, è stata riposta per la sicurezza delle persone e dei manufatti all'intorno.

1. Introduzione

Per la posa di una condotta sottomarina di diametro 1.300 mm e lunghezza pari a 625 m, è stato necessario scavare una trincea subacquea di fronte all'abitato di Borgo S. Elia a Cagliari (Fig. 1).

I lavori sono stati effettuati, dall'ottobre 1990 al marzo 1991, dal raggruppamento d'impresе GECOPRE SpA di Cagliari e GENECO SpA di Roma, con la consulenza dell'Ing. Roberto Folchi per l'uso controllato degli esplosivi.

La posa della condotta si inseriva nell'ambito dei lavori di ammodernamento della rete fognaria della città di Cagliari e delle frazioni di corona.

2. Scavo della trincea

Le formazioni in affioramento sul fondale, costituite prevalentemente da poseidonia, argille e sabbie, sono state asportate con una sorbona per un'ampia fascia a cavallo dell'asse della trincea.

Le formazioni litoidi sottostanti, consistenti in un banco di calcare organogeno sovrapposto ad una calcarenite, sono state abbattute con cariche esplosive in fori da mina e con cariche appoggiate. Il marino, ovvero la roccia frantumata dall'esplosivo, è stato asportato con una benna idraulica a polipo, montata su pontone.

Lo scavo della trincea con approfondimenti in roccia da 4 m sino a circa 1.5 m, è stato effettuato con cariche in foro. I fori sono stati realizzati con due perforatrici montate su una piattaforma (Foto 1). Il battente idraulico andava da 5 a 14 m. Per la frammentazione della roccia sono stati utilizzati esplosivo

tipo Dinamite ad elevato tenore di nitroglicerina, miccia detonante rinforzata alla pentrite (da 20 gr/m), detonatori ed unità di connessione tipo *Nonel Unidet Nitro Nobel* forniti dalla Sarda Esplosivi Industriali SpA di Domusnovas (CA).

Lo scavo della trincea con approfondimenti sino a circa 1.5 m, è stato effettuato con cariche cave (3.5 Kg di esplosivo tipo Water Gel), con cariche tubolari appoggiate (esplosivo tipo Dinamite) e miccia detonante rinforzata alla pentrite da 20 gr/m.

Nelle volate a brillamento sequenziale (innesco di gruppi di cariche appoggiate con detonatori ritardati), lo spiazzamento delle cariche, per l'onda di sovrappressione in acqua, è stato evitato distanziando opportunamente i gruppi di cariche che detonavano allo stesso tempo.

I parametri caratteristici delle volate, attraverso la sistematica osservazione dei risultati e successivi aggiustamenti, sono stati progressivamente ottimizzati per la riduzione dei costi e l'aumento della frantumazione del marino.

3. Problemi di sicurezza per l'uso di esplosivi

I lavori di abbattimento sono stati impostati in modo da contenere gli effetti indotti all'intorno dal brillamento delle cariche esplosive (onde sismiche, onde di sovrappressione in acqua ed in aria) entro valori di assoluta sicurezza per le persone a terra e in mare, per i natanti e per gli adiacenti manufatti.

Lo studio per la valutazione preventiva degli effetti indotti all'intorno dall'esplosivo è stato sviluppato facendo riferimento ad analoghi lavori di sbancamento subacqueo.

I limiti di sicurezza adottati, in carenza di una specifica normativa nazionale, sono stati tratti da norme e raccomandazioni internazionali.

* Dott. Roberto Folchi, Ingegnere Minerario, Consulente, STF - INGEGNERIA DEGLI ESPLOSIVI, Roma; dott. Alessandro Turno, Ingegnere Civile, Direttore Tecnico, GECOPRE SpA, Cagliari; dott. Elvio Loru, Geometra, Direttore di Cantiere, GECOPRE SpA, Cagliari.

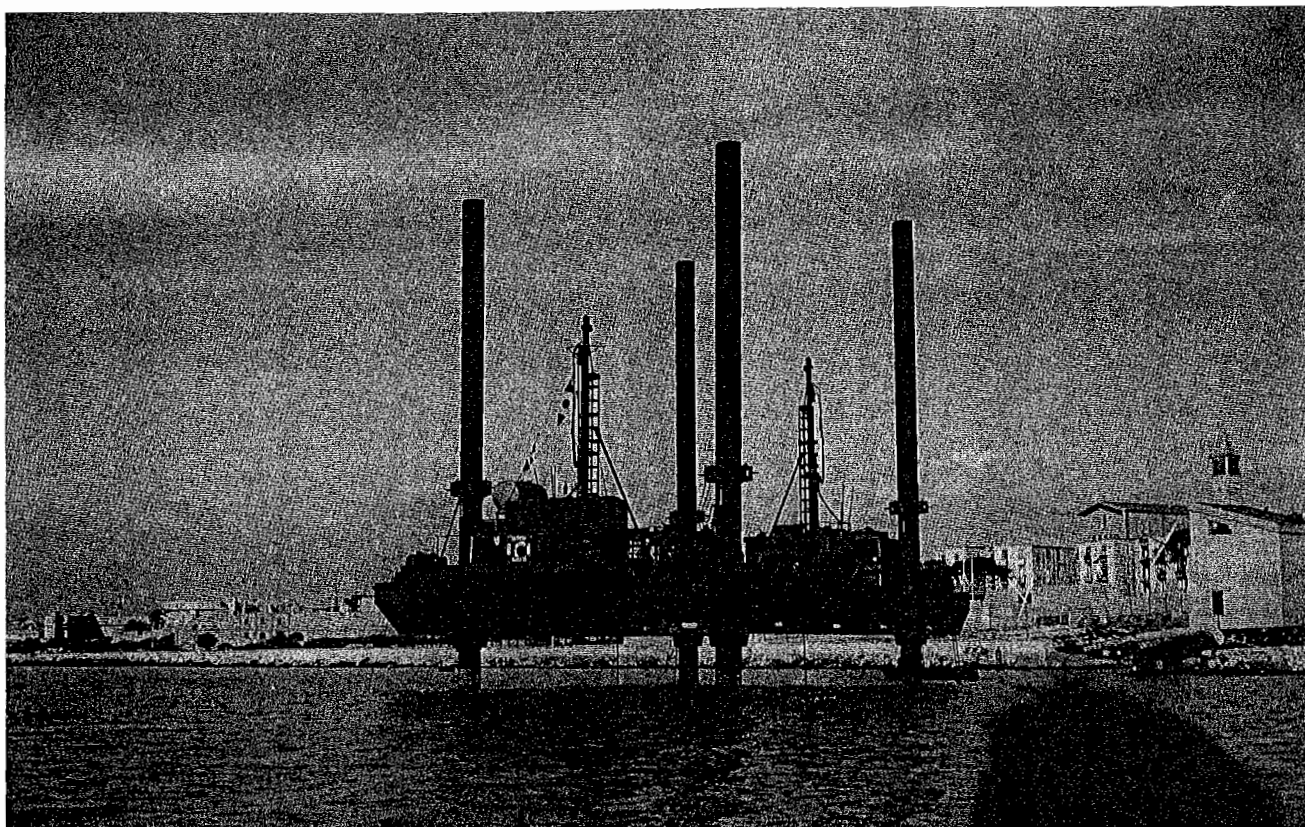


Foto 1. - Pontone sul quale erano collocate le macchine perforatrici per la realizzazione dei fori da mina.

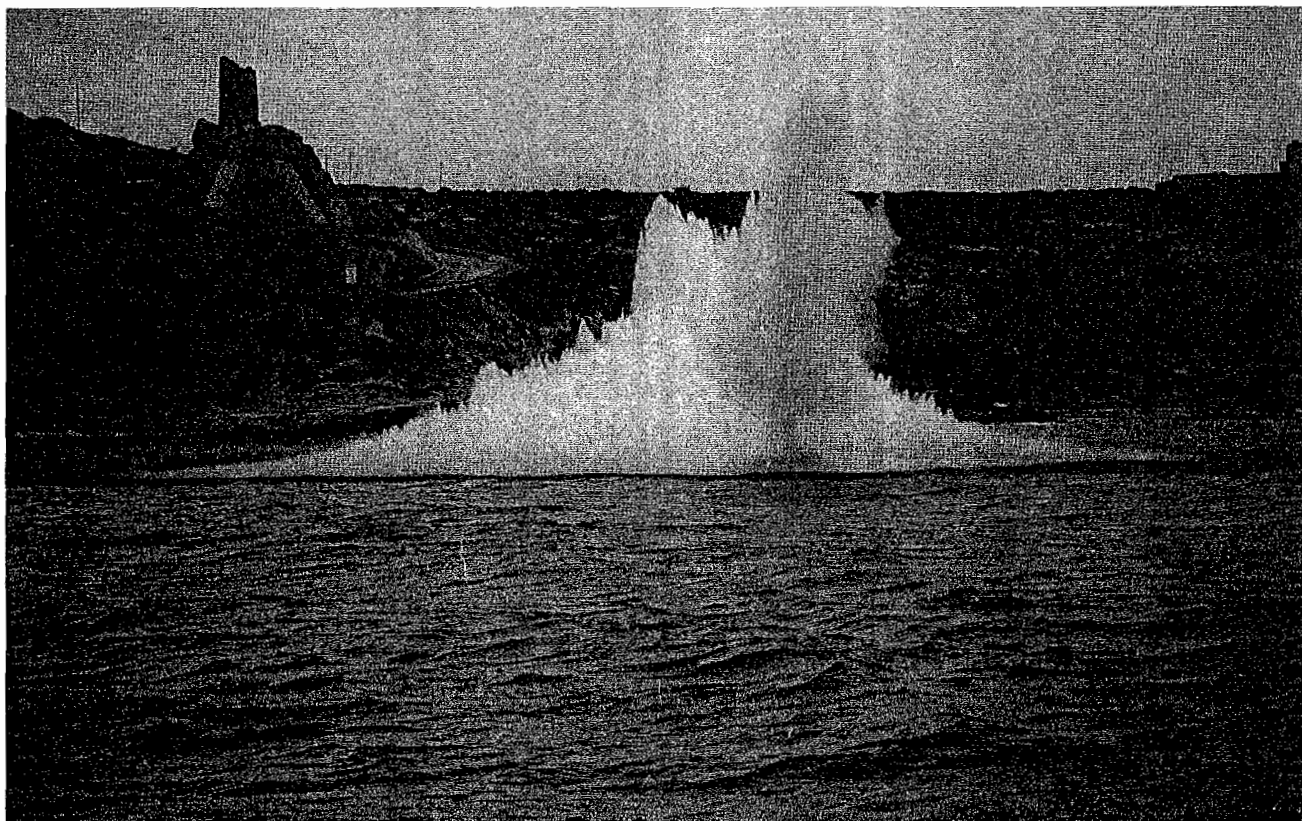


Foto 2. - Brillamento di cariche cave in prossimità della torre «su Pertusemini».

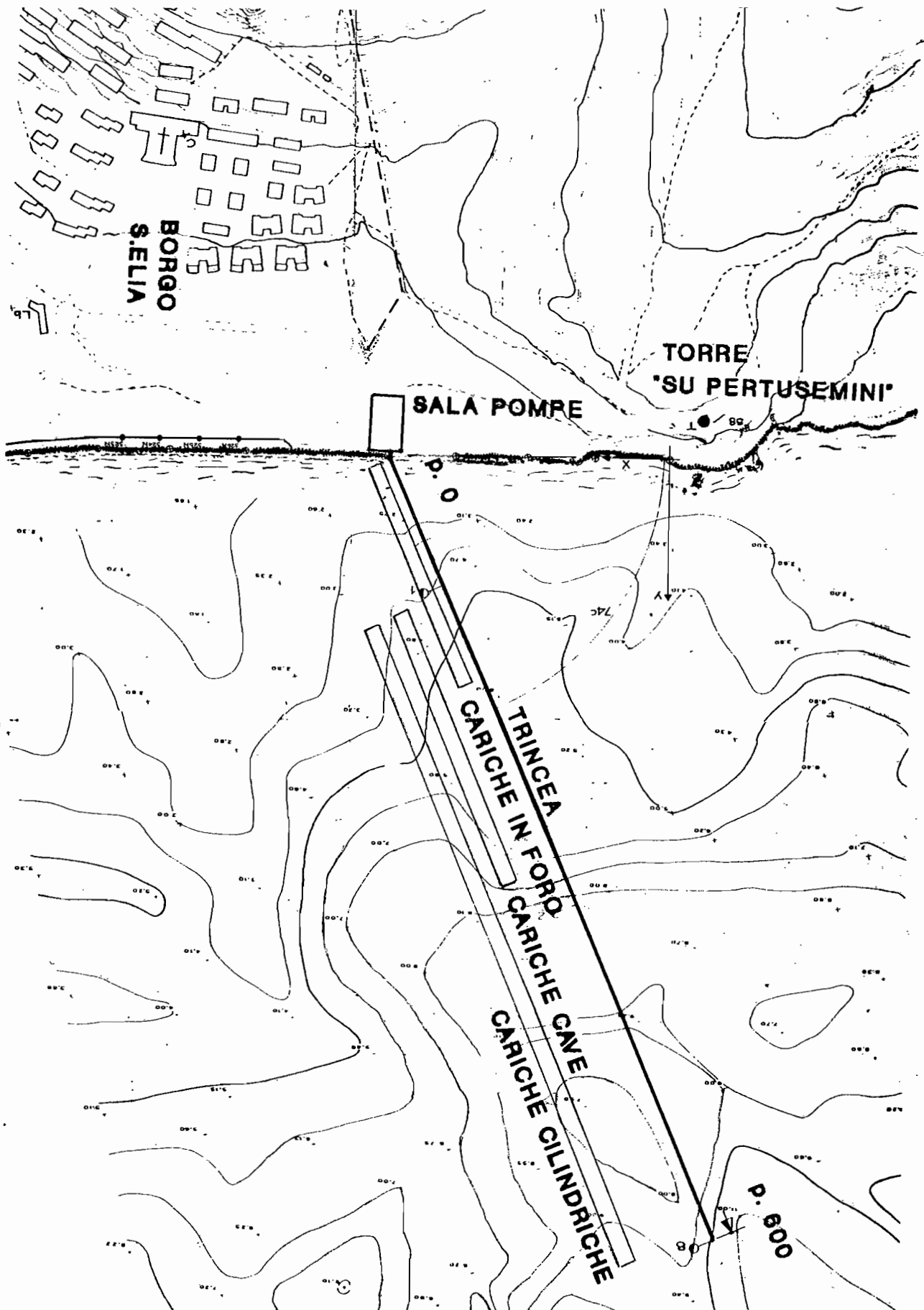


Fig. 1. - Traccia in pianta della trincea realizzata per la posa della condotta sottomarina, di fronte all'abitato di Borgo S. Elia (CA), e dei manufatti vicini da salvaguardare.

4. Misure di sicurezza adottate per le onde sismiche

Per la valutazione dei danni che avrebbero potuto essere causati dalle onde sismiche (vibrazioni del terreno) è stato utilizzato il criterio della 'velocità massima delle particelle di terreno al passaggio del transiente sismico'. Questo criterio di tipo semi-empirico, stabilisce una correlazione tra entità del danno ed ampiezza della velocità delle particelle di terreno, al passaggio del transiente sismico.

All'interno dell'area di cantiere sono state individuate tre tipologie strutturali caratteristiche:

- antica torre d'avvistamento «su Pertusemini» ovvero «Del Prezzemolo» (con geometria troncoconica, realizzata in pietra irregolare giustapposta, arroccata su di uno sperone roccioso intensamente fratturato, Foto 2);
- fabbricati di civile abitazione (a due elevazioni dal piano di campagna, in precarie condizioni di manutenzione ma apparentemente in buon assetto statico);
- struttura di c.a. (di recentissima costruzione, vi sarebbero state successivamente collocate le unità di pompaggio della fognatura).

Per ciascuna tipologia strutturale, in fase di progettazione dell'abbattimento controllato con esplosivi, è stato stabilito uno specifico valore limite di sicurezza per la velocità delle particelle di terreno:

- 8 mm/s per la torre «su Pertusemini»;
- 15 mm/s per i fabbricati di civile abitazione;
- 50 mm/s per la struttura di c.a.

Per la definizione della legge di decadimento della velocità massima delle particelle al variare della distanza dal punto di sparo e della carica, è stato fatto riferimento ad elaborazioni statistiche (regressione di potenza) di misure effettuate in analoghi lavori di sbancamento subacqueo con cariche in foro e con cariche appoggiate.

Sulla scorta di tali leggi di decadimento, avendo assunto i sopra riportati limiti di sicurezza per la velocità delle particelle di terreno per le tre tipologie strutturali, sono stati calcolati i seguenti valori di sicurezza della distanza (dal punto di brillamento alla struttura) scalata sulla radice quadrata della carica esplosiva «DSs»:

- 44 m/Kg^{0.5} (torre «su Pertusemini»), 31 m/Kg^{0.5} (fabbricati di civile abitazione) e 17 m/Kg^{0.5} (struttura di C.A.) per abbattimenti con carica in foro;
- 38 m/Kg^{0.5} (torre «su Pertusemini»), 27 m/Kg^{0.5} (fabbricati di civile abitazione), 14 m/Kg^{0.5} (struttura di C.A.) per abbattimenti con carica appoggiata.

Sulla base di queste distanze scalate di sicurezza sono state dimensionate le volate d'abbattimento imponendo il massimo quantitativo d'esplosivo, ammesso a brillare per ritardo d'innesco, al variare della

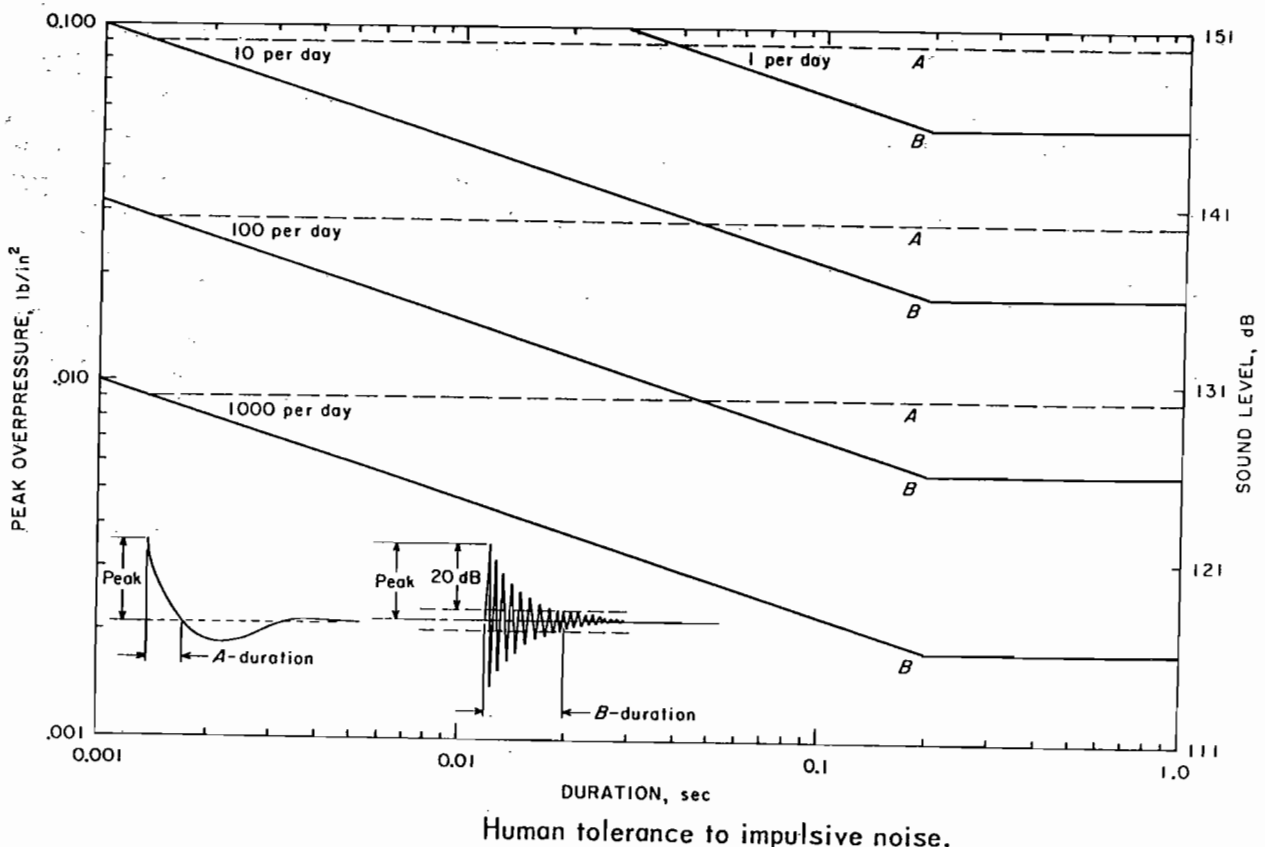


Fig. 2. - Livelli di tollerabilità per esplorazioni ripetute nella giornata (United States Bureau of Mines).

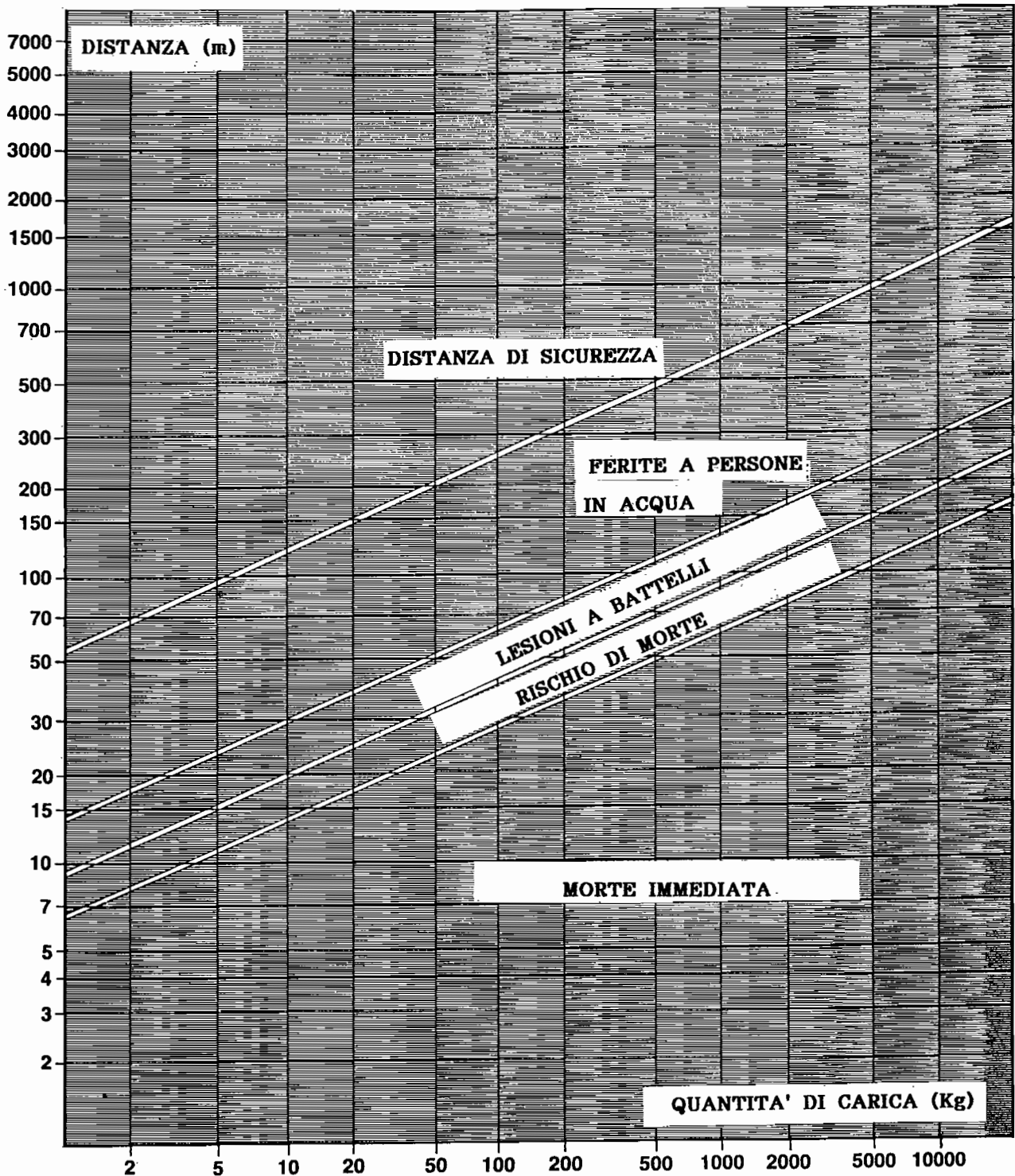


Fig. 3. - Sbancamenti subacquei con cariche appoggiate: effetti indotti in acqua al variare della distanza dal punto di brillamento e del quantitativo di esplosivo (Nitro Nobel).

distanza dal manufatto da salvaguardare. Dei tre valori risultanti (uno per ciascuna tipologia strutturale) è stato considerato il minore.

5. Accorgimenti adottati per le onde di sovrappressione aerea

Il problema dell'onda di sovrappressione aerea è

stato affrontato soprattutto in ordine agli aspetti psicologici indotti sulla popolazione all'intorno. Infatti, quando si lavora con l'esplosivo, i reclami da parte degli abitanti di aree circostanti i lavori si fondano spesso su motivi squisitamente psicologici e non facilmente schematizzabili.

Per esempio, il solo vibrare dei vetri di una finestra, ritenuto accettabile se causato dal vento o dal

STUDIO TECNICO FOLCHI
INGEGNERIA DEGLI ESPLOSIUI
ROMA
TEL. 06/8391160; FAX 8312675

SET-UP INFORMATION

MODE: Single Event
SOURCE: Geophone
GEO TRIGGER LEVEL: 1.27 mm/s
RECORD TIME: 4 second(s)

TRIGGERED at 15:27:14 12-17-1990

MEASUREMENTS

	U	T	R
PPU (mm/s)	4.24	5.69	1.89
TIME (ms)	108	75	78
FREQ (Hz)	13	14	11
PPA (g)	.69	1.56	1.68

PUS (mm/s) 6.25 (75 ms)
PSPL (Pa) 12.37 (116 db)

SERIAL#: U5-G240038
CALIBRATED BY:
THOMAS INSTRUMENTS, SPOFFORD, NH
JULY 24, 1990

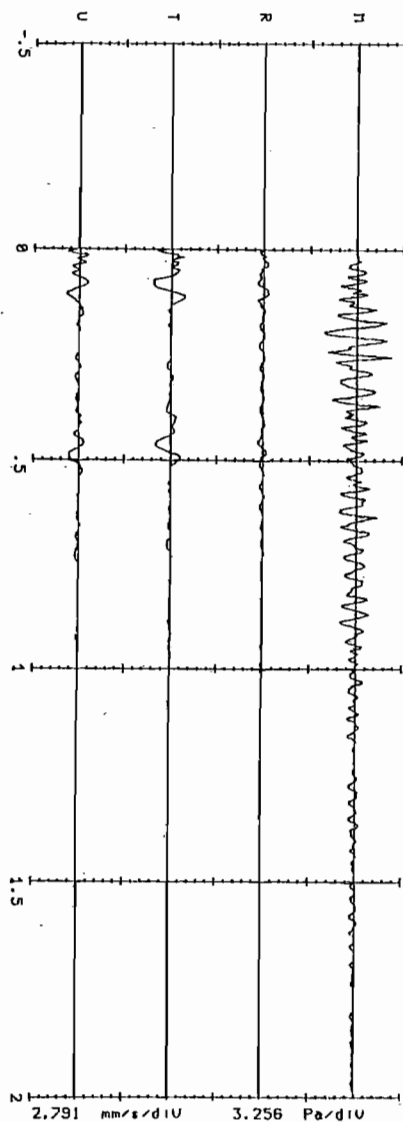


Fig. 4. - Monitoraggio dell'onda sismica e dell'onda di sovrappressione aerea. Registrazione degli effetti indotti da due gruppi di cariche il cui brillamento è stato differito di circa 0.5 s: valori massimi dei parametri caratteristici dell'onda, forma d'onda.

traffico, desta apprensione quanto è collegato al brillamento di cariche esplosive.

Sulla scorta di tali considerazioni, e facendo riferimento ai risultati di ricerche sperimentali, condotte dall'United States Bureau of Mines, sui livelli di tollerabilità dell'onda di sovrappressione aerea indotta dal brillamento di cariche esplosive, è stato imposto un valore dell'onda di sovrappressione aerea in prossimità delle prime abitazioni residenziali, inferiore a 126 dB, ovvero tale da garantire la sopportabilità per oltre 100 brillamenti al giorno (Fig. 2).

6. Misure di sicurezza adottate per le onde di sovrappressione in acqua

Stabilito il quantitativo massimo di esplosivo che avrebbe potuto essere fatto brillare in condizioni di sicurezza per i manufatti, è stata definita un'area di sgombero all'intorno del punto di brillamento, per persone e natanti (Fig. 3).

Accogliendo un suggerimento del Ministero dei Lavori Pubblici, Ufficio del Genio Civile per le Opere Marittime di Cagliari, la distanza di sicurezza non è stata mai portata, comunque, al di sotto dei 500 m.

Durante le operazioni di caricamento e brillamento della volata l'interdizione dell'area di sgombero a mare è stata garantita da personale posizionato lungo il perimetro.

7. Monitoraggio delle onde sismiche e delle onde di sovrappressione aerea

In fase di esecuzione dei lavori, a verifica delle rigorose condizioni di sicurezza a cui era stato attinto in fase di progetto, è stato effettuato il controllo strumentale delle vibrazioni indotte e dell'onda di sovrappressione aerea in prossimità dei manufatti da salvaguardare. In particolare, per mezzo del sismografo digitale VMS 500 della Thomas Instruments Inc., sono state misurate le componenti verticale, orizzontale, longitudinale ed orizzontale trasversale della velocità delle particelle di terreno (al passaggio del transiente sismico) e l'onda di sovrappressione aerea dinamica (Fig. 4).

A conferma dell'accuratezza delle ipotesi di progetto, i massimi valori della velocità delle particelle di terreno al passaggio del transiente sismico non hanno mai superato quelli di sicurezza previsti, e ciò senza aver imposto alcuna particolare soggezione ai lavori.