



8° IAGIG INCONTRO ANNUALE GIOVANI INGEGNERI GEOTECNICI

Udine, 18-19 Maggio 2018

Aula 1 Polo Economico di Via Tomadini, 30/a – Udine

ATTI DEL CONVEGNO

Comitato organizzatore:

Francesca Ceccato (*presidente*)

Alberto Bisson, Laura Carbone, Luca Esposito, Federico Fiorelli, Giuseppe Maria Gaspari,
Antonino Milazzo, Francesco Ottoboni, Nicolò Spiezia, Diego Valusso

Comitato scientifico:

Sara Amoroso
Gabriele Della Vecchia
Raffaele Di Laora
Luca Masini



www.iagig.unisa.it



[iagig@
associazionegeotecnica.it](mailto:iagig@associazionegeotecnica.it)



twitter.com/iagig2018



IAGIG – Incontro
Annuale dei Giovani
Ingegneri Geotecnici



IAGIG – Incontro
Annuale dei Giovani
Ingegneri Geotecnici



iagig.wordpress.com

INDICE

Sessione 1: Modellazione geotecnica

Benetello C., Brezzi L. <i>Comportamento cinematico al collasso di miscele coesive</i>	6
Brezzi L., De Fanti F. <i>Effetti del contenuto granulare di miscele coesive e granulari sul comportamento di un debris flow in piccola scala</i>	10
Burali D'Arezzo F. <i>Soil characterisation for the new offshore-onshore port system in Venice</i>	14
Cavalca E., Carri A., Savi R. <i>Validazione per mezzo di analisi numeriche di una strumentazione innovativa per il monitoraggio delle misure di convergenza in scavi in sotterraneo</i>	18
De Sarno D., Pappalardo L., Ramondini M., Vitale E. <i>Resistenza meccanica e conducibilità idraulica di cementi cellulari per applicazioni geotecniche</i>	22
Di Rollo R., Amoroso S., Monaco P. <i>Modellazione numerica del blast test di Mirabello (FE): dati di input ed ipotesi di calcolo</i>	26
D'Ignazio M. <i>Impatto della qualità dei campioni sulla calibrazione di prove CPTU in argille sensibili</i>	30
Felici M., Domizi J., Fratalocchi E. <i>Consolidazione di sedimenti marini dragati: determinazione della legge di variazione della conducibilità idraulica</i>	34
Forlati G. <i>Tensile behaviour of clays spanning over cavities</i>	38
Girardi V. <i>Valutazione delle proprietà idromeccaniche lungo una faglia listrica con la modellazione agli elementi distinti</i>	42
Romeo D., Gragnano C.G. <i>Modellazione numerica agli elementi finiti di strutture di sostegno rinforzate con geosintetici</i>	46
Scelsi G., Della Vecchia G. <i>Una procedura analitica per stimare lo stato di sforzo in situ a partire da dati di scavo di pozzo</i>	50
Ventini R., De Silva F., Fabozzi S., Nappa V. <i>Potenzialità del processo BIM applicato a problemi geotecnici</i>	54
Ventini R., Flora A., Lirer S., Mancuso C. <i>Sviluppo di una cella triassiale per la caratterizzazione meccanica di un rockfill in condizione di parziale saturazione</i>	58

Sessione 2: Prestazioni delle opere geotecniche, aspetti progettuali, costruttivi e tecnologici

Bella G., Sacco S., Boasso D. <i>Analisi di differenti approcci per il calcolo della capacità portante di fondazioni superficiali</i>	64
Bringiotti M., Nicastro D., Di Bari A., Giauni F. <i>Il progetto e la costruzione di una piattaforma logistica di 130.000 mq (1 lotto) nel porto di Trieste; Icop & Liebherr, accoppiata vincente di organizzazione cantieristica, logistica e macchine potenti ed efficienti</i>	68
De Donà F. <i>La tecnica del Direct Pipe® per la posa di condotte in pressione</i>	72
Di Buò B., Lämsivaara T. <i>Calcolo della pressione di preconsolidazione di argille sensitive finlandesi mediante prove CPT</i>	76
Falanesca M., Merlini D. <i>Galleria di base del ceneri: aspetti progettuali e costruttivi degli scavi in condizioni geotecniche difficili</i>	80
Gaspari G.M. <i>Risk mitigation through the preliminary design process – The West Vaughan Sewage Servicing project in Canada</i>	84
Maca N., Szczygielski M. <i>Deep excavation support and micropile underpinnig as the way of creating a new space – Construction of the New Silesian Museum in Katowice</i>	90
Maione G., Esposito L. <i>Smart TFEG in transparent soil</i>	94

Michielin E., Tchamaleu Pangop F., Schenato L., Bergamo O., Bersan S., Cola S., Simonini P. <i>Analisi della risposta in esercizio di un palo CFA monitorato con fibre ottiche</i>	98
Ongaro F., Meriggi R. <i>Aspetti progettuali di fondazioni monopalo per turbine eoliche offshore</i>	102
Pedrin F., Alessandrini F., Fedrigo D., Valusso D. <i>Pali a mare: aspetti critici nell'esecuzione e nel controllo</i>	106
Redaelli I., Tomasin M. <i>Analisi del ruolo delle fondazioni sulla performance di macchine utensili</i>	110
Righetto G., Ceccato F., Tosi L., Simonini P. <i>Stima dei cedimenti a lungo termine attraverso prove CPT: caso di una diga foranea a Lido di Venezia</i>	114
Scarcella G., Addotto S. <i>Aspetti metodologici legati alla progettazione geomeccanica di un complesso di caverne in sotterraneo</i>	118
Tradigo F., Rama A., Raimondi L., Brambilla F. <i>Prova di carico su palo trivellato tramite cella Osterberg</i>	122

Sessione 3: Stabilità dei pendii, interventi di miglioramento e rinforzo

Bisson A., Lucchese Z., Tchamaleu F., Schenato L., Palmeri L., Cola S. <i>Studio delle prestazioni meccaniche degli ancoraggi compositi mediante tecnica OFDR</i>	128
Bossi G., Tedesco G., Schenato L., Marcato G. <i>Monitoraggio strutturale di un tunnel stradale che attraversa una grande frana attiva (Passo della Morte, Forni di Sotto, UD)</i>	132
Carbone L., Syllwasschy O. <i>Uranium ore tailings ponds remediation in extreme soft subsoil: a German case study</i>	136
De Gregorio S., Savoca A., Petroccelli G., Giaffrida D. <i>Studio geotecnico ed idraulico finalizzato al dimensionamento di opere di difesa idrogeologica nella frazione Acquavena del comune di Roccagloriosa (SA)</i>	140
Della Mea A., Del Fabbro M., Meriggi R. <i>Stabilizzazione del terreno di fondazione di un rilevato mediante Cutter Soil Mixing</i>	144
Di Polito V., Cuomo S., Frigo L. <i>Un caso di stabilizzazione di un pendio tramite geosintetici</i>	148
Flessati L., Orfano M., Zerbi M., Di Prisco C. <i>Analisi dell'influenza della disposizione dei rinforzi sulla risposta meccanica di fronti di gallerie realizzate in materiale coesivo</i>	152
Mizzoni M., Giannella G., Virgili F. <i>Valutazione degli effetti del confinamento sulla stabilità di pilastri di cave di pozzolana</i>	156
Olimpio A., Cacciavillani F. <i>Modellazione della calcarenite applicata ad un caso reale</i>	160
Pol A., Brezzi L., Ceccato S., Gabrieli F., Cola S., Lorenzetti G. <i>Fotogrammetria digitale per il monitoraggio degli spostamenti di versanti instabili</i>	164
Scarpa C., Tassi T., Gorghetto A., Russo L.E. <i>Terre rinforzate con geogriglie in PVA e paramento in pietra nello svincolo stradale di Visinale (PN)</i>	168
Sergeant D., Rabuffetti A.S. <i>Alcuni temi in merito all'analisi ad elementi finiti dei pendii</i>	172

Sessione 4: Geotecnica sismica

Alleanza G.A. <i>Confronto fra due codici di calcolo bidimensionali per analisi di risposta sismica locale: il caso studio di Pretare (Arquata del Tronto)</i>	178
Alleanza G.A., Chiaradonna A. <i>Previsione degli effetti di non linearità dei terreni: confronto tra codici di calcolo per analisi 1D di risposta sismica locale</i>	182
Bella G., Musso G., Azizi A. <i>Resistenza a liquefazione statica di rifiuti minerari in condizioni non sature</i>	186
Caputo G., Conti R. <i>Metodi di equilibrio limite per il dimensionamento sismico di paratie ancorate</i>	190
Catalano E., Stucchi R., Crapp R. <i>Sulla sicurezza delle dighe tipo CFRD in condizioni sismiche</i>	194
Chiaradonna A., Celso Carni M.G. <i>Analisi numerica del comportamento sismico di fondazioni superficiali su terreno liquefacibile</i>	198

Dimichele L., Amoroso S., Minarelli L., Fazzini M. <i>Studi di microzonazione sismica per il comune di Pietracamela (TE): esempio di analisi di risposta sismica locale</i>	202
Gerosa S., Özcebe A.G. <i>Liquefaction susceptibility assessment and its impacts for a railway embankment system</i>	206
Iovino M., Di Laora R., De Sanctis L. <i>Effetto filtro esercitato dai pali: evidenza sperimentale da prove in centrifuga</i>	210
Papa V., Pagliaroli A. <i>Norme tecniche per le costruzioni: valutazione dei coefficienti di amplificazione stratigrafica da analisi di risposta sismica locale su depositi ideali</i>	214
Salvatore E., Ciardi G., Proia R. <i>Iniezioni a bassa pressione di miscele a base di nanosilice colloidale per la riduzione della suscettibilità alla liquefazione delle sabbie</i>	218
Tomasello G., Porcino D.D., Diano V. <i>The effect of a static shear stress on the undrained cyclic response of sand with non plastic fines</i>	222

SESSIONE 2

PRESTAZIONI DELLE OPERE GEOTECNICHE, ASPETTI PROGETTUALI, COSTRUTTIVI E TECNOLOGICI

PALI A MARE: ASPETTI CRITICI NELL'ESECUZIONE E NEL CONTROLLO

Federica Pedrini (federica.pedrini@alpeprogetti.it), Francesco Alessandrini (francesco.alessandrini@alpeprogetti.it), Dario Fedrigo (dario.fedrigo@alpeprogetti.it), Diego Valusso (diego.valusso@alpeprogetti.it)
Alpe Progetti s.r.l. Società di Ingegneria – Udine – Italy

ABSTRACT. I lavori di realizzazione di una nuova banchina presso il porto di Trieste, da destinare a piattaforma logistica, prevedono la realizzazione di circa 800 pali a mare, di diametro pari a 1.27 m, necessari a sostenere l'impalcato. L'elevato numero di elementi, la variabilità delle condizioni stratigrafiche e batimetriche, e la precisione richiesta per l'esecuzione dei pali hanno messo in evidenza una serie di criticità nelle procedure e tecnologie costruttive, la cui risoluzione è stata affinata sia prima che durante l'esecuzione dei lavori. Contemporaneamente anche il controllo della qualità dell'eseguito ha richiesto un significativo impegno ed una estensione delle attività, al fine di poter assicurare le prestazioni richieste in fase progettuale.

1. INTRODUZIONE

Il Porto di Trieste, presso l'area portuale situata nella zona Sud della città, ha da poco visto partire i lavori di realizzazione della nuova Piattaforma Logistica, una banchina di oltre 60000 mq di estensione, che sarà collegata alle restanti aree portuali e che permetterà un incremento del traffico anche a imbarcazioni di grandi dimensioni.

Il lavoro si inserisce all'interno di un'attività più ampia, che riguarda soprattutto la bonifica ambientale dell'area, con opere anche direttamente collegate alla banchina in oggetto.

2. LA BANCHINA

La banchina portuale in costruzione è costituita da una piastra monolitica in c.a. post-teso, con forma planimetrica quasi trapezoidale: i lati (maggiore/minore) hanno sviluppo di 460/160 m, mentre l'"altezza" è di 280 m. La struttura è continua senza giunti, e poggia su un insieme di pali di grosso diametro ($\varnothing_{est} = 1270$ mm) tramite degli isolatori sismici ad attrito a doppia curvatura.

La struttura della piastra è costituita da nervature principali (travi), larghe 1.80 m ed alte complessivamente 1.0 m, tutte (o quasi) parallele tra loro, disposte ad interasse di 10 m l'una dall'altra. La zona compresa tra le travi è costituita da una soletta in c.a. con spessore minimo di 0.50 m. Le travi sono gettate in opera, entro casseri autoportanti, e quindi post-tese mediante 32 trefoli viplati super da 0.6", ad andamento parabolico, che esercitano un'azione assiale massima di 5000 kN circa. Analogamente, la soletta è post-tesa, ma in direzione ortogonale alle travi ed in modo diffuso: mediamente è presente 1 trefolo viplato (uguale a quello utilizzato per le travi) ogni 25 cm, ed il tutto permette di esercitare un'azione di compressione (media) di 600 kN/m.

3. I PALI DI FONDAZIONE

Il sistema fondazionale adottato per l'opera è costituito da una palificata pressoché regolare in pianta, con pali a mare di diametro esterno 1270 mm, realizzata secondo una maglia quadrata di lato 10 m. I pali sono del tipo trivellato, con diametro dell'utensile di perforazione di 1180 mm, e sono dotati di un lamierino metallico di protezione, che funge da cassero e da sostegno dello scavo per quasi tutto lo sviluppo dell'elemento. In Figura 1 è possibile vedere una panoramica dello stato attuale di avanzamento dei lavori.

La lunghezza dei pali è molto variabile, passando dai 25 m ai 44 m circa a seconda delle zone: questo è dovuto alla quota del sottofondo flyschoide su cui gli stessi si

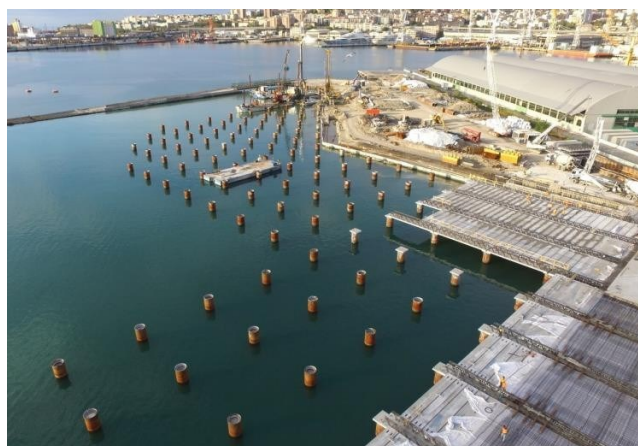


Figura 1. Panoramica dello stato di avanzamento lavori di costruzione della banchina portuale (novembre 2017).

intestano, il cui orizzonte nella zona in esame degrada passando dalla linea più interna di costa alla zona a mare, secondo una direttrice Nord/Est –Sud/Ovest (Figura 2).

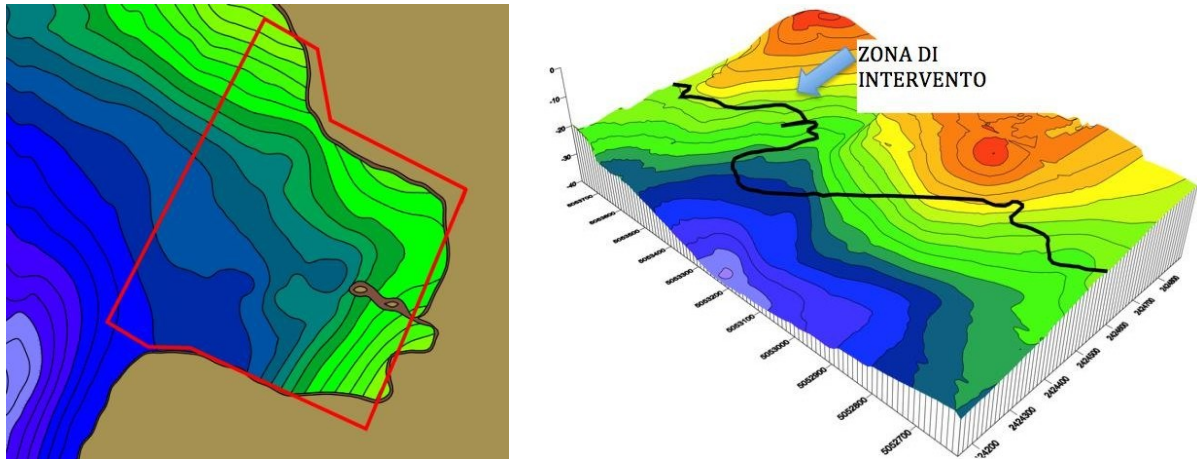


Figura 2. Rappresentazione planimetrica e 3D del top dello strato flyschoid.

3.1 Aspetti costruttivi

Dal punto di vista costruttivo la realizzazione avviene secondo le seguenti fasi:

Fase 1: posa in opera di una dima metallica galleggiante, con lo scopo di garantire la distanza relativa corretta tra i pali (maglia regolare 10x10m);

Fase 2: posa in opera del lamierino di protezione, mediante vibroinfissione dello stesso; la lunghezza del tubolare è tale da superare i primi strati di terreno più deformabile e scadente (fanghi, argille limose poco consistenti) e raggiungere lo strato coesivo più consistente, riconosciuto mediamente a circa 5m dal substrato roccioso di base;

Fase 3: esecuzione dello scavo all'interno del lamierino, fino al raggiungimento della lunghezza di progetto del palo; il tratto più profondo dello scavo (privo di lamierino) è sostenuto mediante l'uso di polimeri, metodologia risultata adeguata grazie alle migliori caratteristiche del suolo;

Fase 4: inserimento della gabbia di armatura e successivo getto del calcestruzzo;

Fase 5: preparazione della testa palo per l'accoglimento degli appoggi (Figura 4).

In Figura 3 sono rappresentate in parallelo le varie fasi della lavorazione dei pali a mare - FASE 1: posizionamento della dima galleggiante; FASE 2: vibroinfissione del lamierino di protezione; FASE 3: fase di scavo del palo; FASE 4: posa in opera della gabbia di armatura.

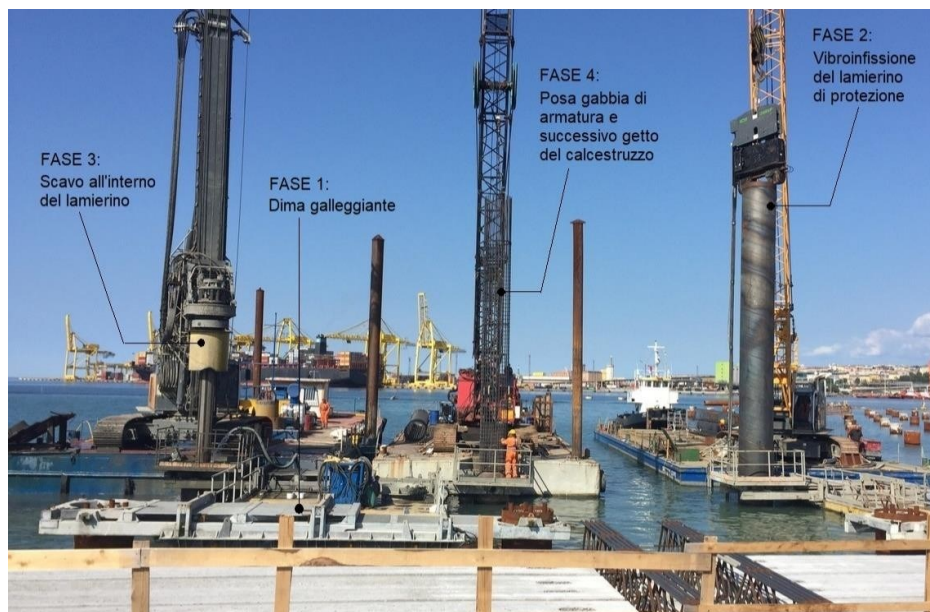


Figura 3. Dima galleggiante e fasi costruttive dei pali a mare.

L'esecuzione di queste operazioni pone diverse difficoltà, quali:

- A. Necessità di realizzare il palo nella corretta posizione planimetrica: sono state utilizzate speciali “dime centriche”, costruite ad hoc per questo lavoro, galleggianti e dotate di idonei sistemi idraulici atti a garantire una soddisfacente precisione nella posizione planimetrica (tolleranza di ± 5 cm nella posizione del palo).
- B. Necessità di infiggere il lamierino metallico e garanzia della sua verticalità: l'infissione è eseguita con vibratore (frequenza max 2300 rpm, peso totale 6 t), mentre il controllo di verticalità è eseguito con bolla digitale apposta dall'operatore durante l'infissione (tolleranza ammessa $\pm 0.3\%$ rispetto la verticale, massima rilevata 0.2%, generalmente variabile da 0 a 0.1%). I lamierini infissi, di lunghezza variabile da 13 m a 33 m, sono assemblati in cantiere fino ad ottenere la lunghezza prevista, e quindi movimentati con gru e pontoni fino al punto di infissione. La valutazione della corretta lunghezza di questi elementi ha richiesto una fase di taratura iniziale, nonostante l'elevato numero di indagini eseguite. Infatti lunghezze eccessive, fino a raggiungere il top del flysch, avrebbero causato difficoltà nella prefabbricazione dei lamierini (variabilità della quota di top del flysch), mentre lunghezze ridotte, comunque fino al top dello strato coesivo più consistente, si sono rivelate talora non sufficienti a garantire una corretta esecuzione del palo (lamierino instabile durante le fasi di scavo al di sotto del suo piede);
- C. Necessità di sostenere il tratto inferiore di scavo: sono stati utilizzati polimeri naturali in polvere biodegradabile (anche per motivi ambientali). Il quantitativo usato è stato rivisto ed ottimizzato durante l'esecuzione: si è infatti riscontrato che un'elevata quantità di polimeri dava luogo ad un materiale di spurgo eccessivo per quantità e densità. La riduzione del quantitativo (circa 0.3-0.6 kg/m³ di getto per palo) ha reso più gestibile il materiale di spurgo garantendo comunque la stabilità dello scavo;
- D. Operazioni di scavo eseguite da pontone: questa modalità esecutiva, necessaria nel caso in esame, pone problemi di stabilità del macchinario, spinta limitata, variabilità plano-altimetrica dovuta alla marea, mancanza di un riferimento topografico fisso. Questo ha ovvie ripercussioni nella difficoltà ad eseguire la perforazione perfettamente verticale (inclinazione del supporto) e durante la fase di attraversamento di materiali consistenti (spinta del macchinario limitata dal supporto cedevole);
- E. Possibilità di incontrare, durante lo scavo, elementi “puntuali” difficilmente perforabili. È il caso soprattutto delle operazioni vicino riva, in cui nel materiale di riporto antropico possono essere presenti blocchi di calcestruzzo, ancore, catene di navi, palancole. Questi elementi hanno impedito l'infissione diretta del lamierino, e hanno invece richiesto metodologie diverse (p.e. prescavo e bonifica iniziale, infissione parziale del lamierino, rinterro...). La loro non facile identificazione preliminare (in quanto, p.e. posti anche a profondità significative) costituisce una variabile importante nelle tempistiche di realizzazione.



Figura 4. Dettaglio testa palo (n. 758) con materiale di spurgo in demolizione (sx) e dopo la scapitozzatura (dx).

3.2 Controlli in corso d'opera

Le diverse problematiche riscontrate hanno reso necessaria un'attenta valutazione dell'eseguito. A causa degli elevati carichi in gioco e delle ridotte tolleranze ammesse, sono consentite tolleranze minime rispetto ai valori teorici di progetto.

In particolare l'attività di controllo è stata finalizzata a:

1. Verifica topografica della posizione plano-altimetrica di ogni palo: dal punto di vista altimetrico la soluzione adottata è stata quella di completare la testa in un secondo momento, a palo eseguito. Dal punto di vista planimetrico il controllo è finalizzato a verificare che la posizione del palo non superi i valori di tolleranza ammessi dalla metodologia costruttiva.

2. Verifica dell'integrità del palo: il controllo è condotto eseguendo prove di integrità col metodo sonico (S.I.T.), nei pali opportunamente attrezzati, e col metodo dell'ammittenza meccanica (P.I.T.) in generale. Complessivamente il numero di elementi testati è non inferiore al 50% del totale. In figura 5 riportiamo a sinistra un diagramma di prova S.I.T. eseguita con 3 tubi sonici.
3. Verifica della qualità di realizzazione del palo: per ogni palo è condotto un raffronto tra quantità teorica di materiale (calcestruzzo), quantità effettivamente utilizzata, associando il consumo ai diversi tratti verticali di elemento. In questo modo è possibile verificare la presenza o meno di sbulbature, l'efficacia del sistema di sostegno scavo, il livello di alterazione del substrato flyschoidale più superficiale.
4. Verifica della capacità portante verticale dei pali: a tal fine sono state eseguite 2 prove di carico statiche, una su un palo di progetto strumentato, ed una su un palo perimetrale (prova di collaudo). In entrambi i casi la prova statica è stata seguita da una prova dinamica ad alta energia (prova CASE), con maglio in grado di esercitare una forza statica equivalente di 16000 kN. Sono previste, ed in parte sono già state realizzate, numerose prove di collaudo, di tipo dinamico pesante, sui pali a mare. In figura 5 è possibile vedere a destra l'attrezzatura per la prova di carico dinamica di tipo CASE.

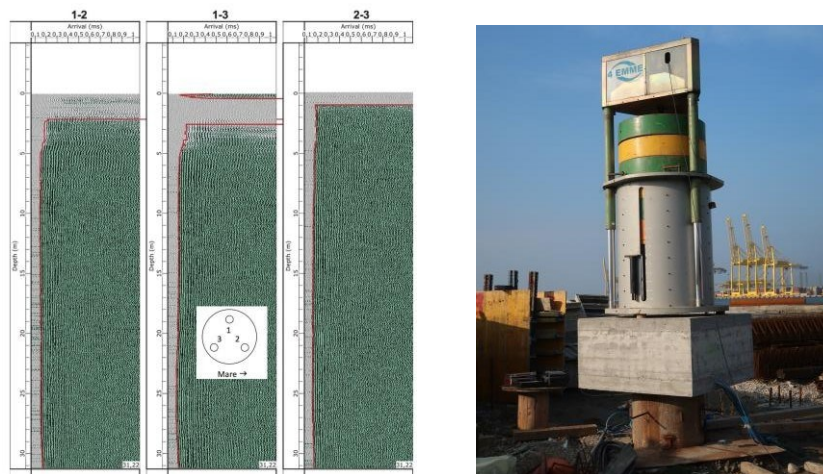


Figura 5. Esito prova S.I.T. (palo n. 758) (sx) e maglio per prova di carico dinamica CASE (dx).

4. CONCLUSIONI

I lavori di realizzazione della nuova piattaforma logistica hanno messo in evidenza diverse problematiche nell'esecuzione di pali a mare. A quelle già previste in fase di progetto, legate all'ambiente di lavoro marino, se ne sono aggiunte altre in fase costruttiva, associate alla particolare conformazione del fondale, alle caratteristiche dei terreni più superficiali (riporti antropici) e alle particolari richieste progettuali. Il controllo delle operazioni, sia in fase operativa che sull'eseguito, ha permesso di ottimizzare le lavorazioni riducendo gli imprevisti ed i rischi ad essi collegati; al contempo questi controlli vanno a formare una sempre più ampia case history utile a prevenire criticità e a ottimizzare le operazioni future.

5. BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (2016). Piattaforma logistica di Trieste: Prove di carico su palo strumentato. *4Emme Service S.p.a.*
- Brosolo M. (2016,2017). Piattaforma logistica di Trieste: relazione sulla prova non distruttiva ecometrica e vibrazionale eseguita su pali a mare e a terra. *Studio Brosolo.*
- Buzzolo F. (2016). Strategie e criteri costruttivi di una palificata portuale. *DPIA Università degli Studi di Udine, tesi di laurea magistrale.*
- Solari N. (2016). Analisi ai carichi orizzontali di un palo trivellato in ambiente marino. *DPIA Università degli Studi di Udine, tesi di laurea magistrale.*
- Valusso D., Alessandrini F., Fedrigo D. (2017). Prove di carico su un palo-pilota di grande diametro ad elevate strumentazione nell'ambito del progetto della nuova banchina portuale a Trieste (PLT). *Atti IAGIG 2017, Catania.*