



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE  
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

---

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Civile ed Ambientale

**“TECNICA DI RIPARAZIONE DI UNA PARATIA DI  
PALI AMMALORATA”**

**“Repair of a damaged pile bulkhead”**

*Relatore:*

**Prof. Ing. Ivo Bellezza**

*Laureando:*

**Cecilia Massaccesi**

*Correlatore:*

**Prof. Ing. Erio Pasqualini**



# INDICE

1. INTRODUZIONE.....	1
2. INQUADRAMENTO DEL SITO .....	3
2.1. Localizzazione dell'opera.....	3
2.2. Modello geotecnico .....	3
3. DESCRIZIONE DELLE OPERE .....	5
3.1. Paratia di Monte.....	9
4. PROBLEMATICHE E MODALITÀ OPERATIVE PREVISTE NEL PROGETTO ESECUTIVO.....	11
4.1. Progetto del ripristino della paratia .....	15
5. ESECUZIONE DELLE FASI.....	24
5.1. Predisposizione area cantiere.....	25
5.2. Scavo .....	29
5.2.1. Scavo lato Valle .....	30
5.2.2. Scavo lato Monte.....	31
5.2.3. Tempi medi di intervento .....	33
5.3. Prova sclerometrica .....	36
5.3.1. Descrizione strumentazione .....	36
5.3.2. Esecuzione prova.....	38
5.3.3. Risultati della prova .....	39
5.4. Idrodemolizione e Pulizia.....	45
5.5. Passivazione ferri armatura .....	48
5.6. Armatura aggiuntiva e Posa in opera della rete elettrosaldata.....	50
5.7. Casseratura e Getto di calcestruzzo .....	52
5.7.1. Prove in sito.....	55
5.7.2. Slump Test.....	56
5.7.3. V-Funnel Test.....	59
5.8. Ripristino dei tiranti.....	60
5.9. Rinterri.....	63
6. CONCLUSIONI .....	68
7. BIBLIOGRAFIA .....	70



# 1. INTRODUZIONE

Il seguente elaborato pone l'attenzione sull'analizzare le problematiche e descrivere le soluzioni operative adottate, finalizzate al ripristino di una paratia composta da due file di pali trivellati collegati con un cordolo in testa.

Il suddetto lavoro di analisi, descrizione delle soluzioni operative, la relativa attività di cantiere e preparazione del materiale è stata portata avanti, insieme ad una laureanda dell'Università Politecnica delle Marche, Gioanna Di Giambattista, la quale ha sviluppato il suo lavoro di tesi a chiusura del suo percorso di studi della laurea magistrale ampliandolo alle tematiche della modellazione geotecnica e strutturale.

Nel sito in esame è presente un sistema di paratie avente ruolo e funzioni diverse; in questa sede si analizzerà principalmente la paratia localizzata a monte come si può identificare in Figura 1.1

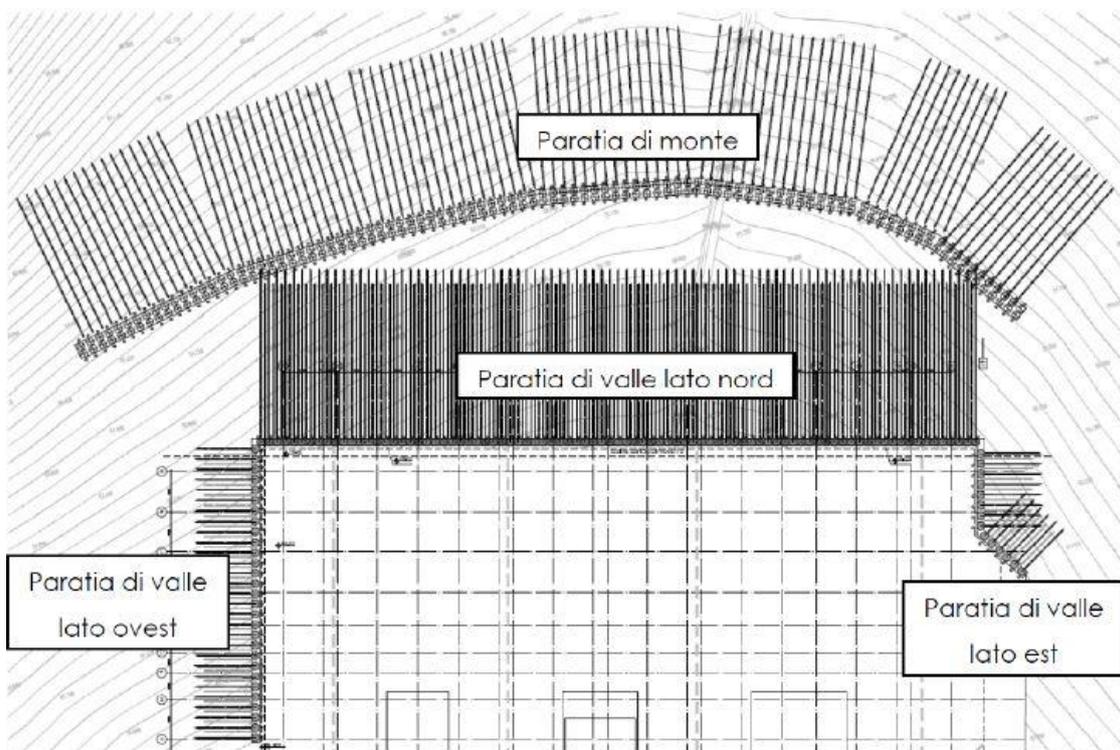


Figura 1.1. Planimetria descrittiva delle diverse paratie

Le indagini strutturali fatte sulla paratia hanno evidenziato delle anomalie, dovute al fatto che pali di grande diametro, nella fase di esecuzione, comportano il possibile disallineamento e i ferri di ripresa che arrivano al cordolo sono stati piegati e ciò ha comportato lesioni del calcestruzzo con conseguente infiltrazione di materiale terroso nella parte sommitale dei pali e quindi ammaloramento generale del calcestruzzo in tale zona. Questa lesione ha reso discontinua ed inefficace l'interazione tra la trave di collegamento ed i pali costituenti la paratia.

La soluzione per il ripristino di quest'opera e soprattutto delle parti ammalorate con il fine di ripristinare ovunque, le condizioni di progetto ovvero la finalità dell'opera si esplica in 8 fasi; di seguito la sequenza:

- 1- Attività di scavo
- 2- Analisi delle prove sclerometriche effettuate
- 3- Attività di scarificazione e pulizia delle inclusioni terrose
- 4- Passivazione dei ferri e delle armature presenti nella paratia
- 5- Allestimento ed inghisaggio delle armature aggiuntive
- 6- Casseratura e getto delle cordolature di sostegno
- 7- Ripristino dei tiranti
- 8- Rinterro e drenaggi

## **2. INQUADRAMENTO DEL SITO**

### *2.1. Localizzazione dell'opera*

La paratia oggetto di studio è posta a sostegno del versante Nord del nuovo complesso ospedaliero di Ancona Sud nel comune di Camerano, ancora oggi in fase di costruzione. La nuova struttura ospedaliera sorgerà a circa 2 km dal centro di Camerano e a circa 10 km da quello di Ancona, lungo la SP direttissima del Conero.

### *2.2. Modello geotecnico*

Per modello geotecnico si intende uno schema rappresentativo delle condizioni stratigrafiche, del regime delle pressioni interstiziali e della caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni e delle rocce comprese nel volume significativo, finalizzato all'analisi quantitativa di uno specifico problema geotecnico. Per volume significativo di terreno si intende la parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso.

In tabella 2.2.1 viene riportata in sequenza la stratigrafia ricavata dalle indagini conoscitive condotte in sito durante la fase di progettazione delle opere, mentre in tabella 2.2.2 vengono riassunti i valori dei parametri geotecnici relativi ad ogni singolo strato, ricavati da prove geotecniche.

Inoltre dalle letture piezometriche si è riscontrato un livello di falda a circa 5 m di profondità dal piano campagna.

<b>STRATIGRAFIA TERRENO</b>				
<b>ORIZZONTE ( n°)</b>	<b>TIPOLOGIA</b>	<b>PROFONDITA' TETTO DA P.C. (m)</b>	<b>PROFONDITA' LETTO DA P.C. (m)</b>	<b>SPESSORE STRATO (m)</b>
1	Limo argilloso	0,00	7,50	7,50
2	Strato alterato	7,50	10,00	2,50
3	Limo argilloso	10,00	12,00	2,00
4	Argilla limosa	12,00	29,00	17,00
5	Argilla grigio-azzurra	29,00	-	-

Tabella 2.2.1. Stratigrafia terreno

<b>PARAMETRI GEOTECNICI</b>					
<b>ORIZZONTE ( n°)</b>	<b>TIPOLOGIA</b>	<b><math>\gamma</math> (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>c' (kPa)</b>	<b><math>\varphi</math> (°)</b>	<b>Ed (kPa)</b>
1	Limo argilloso	19	0	25	7500
2	Strato alterato	19	0	14	1500
3	Limo argilloso	19	0	25	750
4	Argilla limosa	19	3	27	160000
5	Argilla grigio-azzurra	19	45	30	280000

Tabella 2.2.2. Parametri geotecnici

$\gamma$  = peso volume naturale (Kn/m<sup>3</sup>)

c' = coesione apparente (kPa)

$\varphi$  = angolo di attrito (°)

Ed = modulo edometrico (kPa)

### **3. DESCRIZIONE DELLE OPERE**

Molti problemi di sostegno degli scavi si possono risolvere costruendo preventivamente nel terreno, strutture continue, formate da elementi in cemento armato, gettati in opera, a sezione rettangolare, circolare o composita. Vengono realizzati con attrezzature e tecnologie diverse, che permettono di disgregare ed asportare il terreno, sostenendo le pareti dello scavo, per eseguire successivamente la posa in opera delle armature ed il getto di calcestruzzo fluido. Sono costruite con questo procedimento le paratie in cemento armato, che hanno, rispetto ai muri di sostegno, il sostanziale vantaggio di venire realizzate prima dello scavo costituendo perciò, allo stesso tempo, opere provvisoriale e definitive. Le paratie possono essere incastrate al piede, entrando nel terreno per un tratto sufficientemente lungo sotto il piano di scavo, oppure possono essere vincolate anche con tiranti o puntelli, disposti su uno o più livelli. Le prime sono dette paratie a sbalzo, le seconde paratie ancorate.

Nel nostro caso l'opera in questione è una paratia ancorata, composta da due file di pali circolari, immorsati nel terreno con presenza di un livello di tiranti di ancoraggio e una trave di collegamento in testa ai pali. Quest'ultima è realizzata in cemento armato al fine di costituire un continuo collegamento della testa dei pali, favorendo una mutua collaborazione.

La tipologia di pali costituenti la paratia sono pali CFA ovvero pali trivellati ad elica continua; questa tipologia di muri di pali CFA hanno il vantaggio di poter essere realizzati in quasi tutte le condizioni di terreno. Il rumore e le vibrazioni della costruzione sono relativamente bassi, consentendo l'installazione vicino a strutture esistenti. I pali trivellati possono supportare elevati carichi verticali oltre alla pressione laterale del terreno.

Le modalità esecutive sono qui di seguito elencate nella Figura 3.1:

- A. La perforazione viene effettuata a rotazione con un'elica continua avente l'anima costituita da un'asta cava chiusa all'estremità inferiore da un dispositivo che impedisce l'ingresso del terreno e dell'acqua;
- B. Raggiungimento della profondità di progetto;
- C. Estrazione dell'elica con il terreno trattenuto tra le spirali ed il contemporaneo riempimento dal basso con calcestruzzo ad alta lavorabilità (SCC) pompato a pressione;

- D. Completato il getto del calcestruzzo, eseguito fino al piano di lavoro dell'attrezzatura, si procede all'inserimento dell'armatura metallica;
- E. Palo completato.

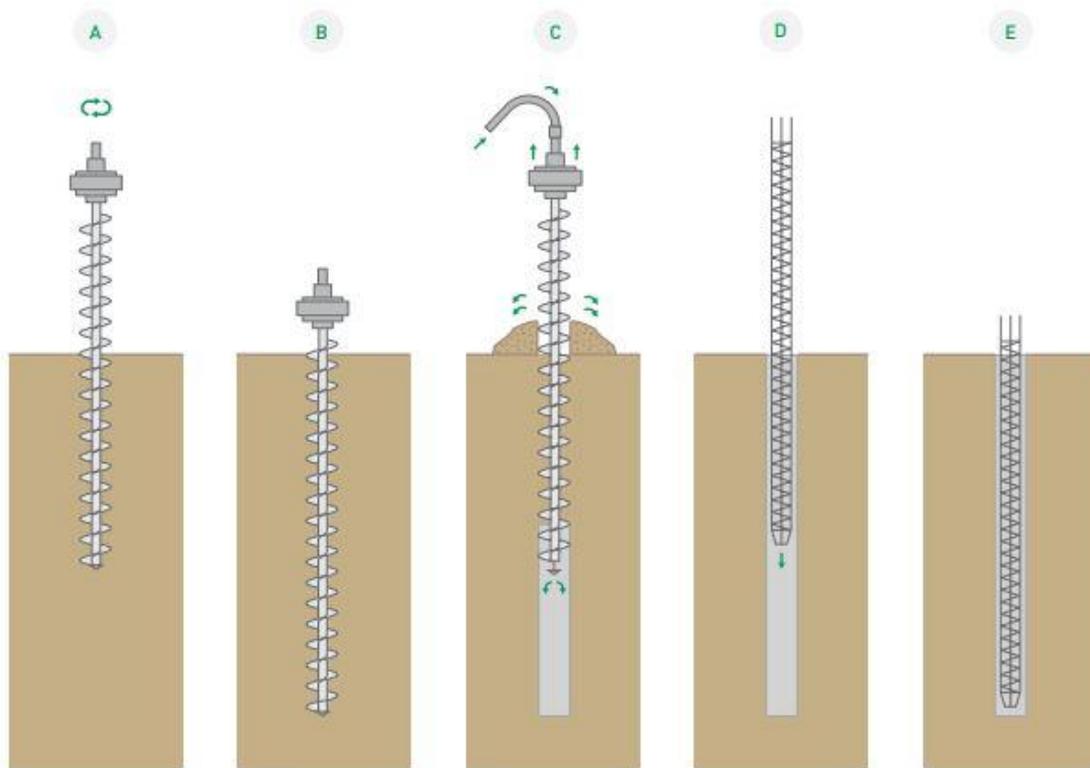


Figura 3.1. Modalità esecutive palo CFA

Una volta terminati i singoli pali, viene realizzata la trave di collegamento per legare insieme i pali, assicurando che il muro agisca come una struttura monolitica. L'opera terminata con l'esecuzione dei tiranti di ancoraggio, ovvero strutture atte a trasferire al terreno la reazione vincolare che la paratia esercita nel punto di ancoraggio.

I tiranti sono costituiti da una armatura metallica (solitamente in acciaio armonico e presolleccitata) e da una guaina, installate in un foro preventivamente eseguito nel terreno. Un dispositivo di bloccaggio fissa l'armatura alla testa del tirante, solidale con la paratia. L'armatura può essere costituita da barre, tubi, fili o trefoli. La trasmissione al terreno dello

sforzo di trazione applicato all'armatura è resa possibile dalla cementazione del tirante nella sua parte attiva, detta anche "fondazione", cioè dall'iniezione di una malta di cemento nel terreno attorno all'armatura.

In relazione alla modalità di sollecitazione, i tiranti vengono distinti in:

- tiranti passivi, nei quali la sollecitazione di trazione nasce quale reazione a seguito di una deformazione dell'opera ancorata;
- tiranti attivi, nei quali la sollecitazione di trazione è impressa in tutto o in parte all'atto del collegamento con l'opera ancorata.

Le parti funzionali di un tirante di ancoraggio come si possono vedere in Figura 3.2 sono:

- la testata, costituita dalla piastra di ripartizione e dal dispositivo di bloccaggio;
- il tratto libero, intermedio, costituito dagli elementi di armatura che trasmettono la forza di trazione tra la testata ed il tratto attivo;
- ancoraggio (o fondazione), costituito dall'armatura cementata al terreno o alla roccia circostante, al quale trasmette la forza di trazione agente.

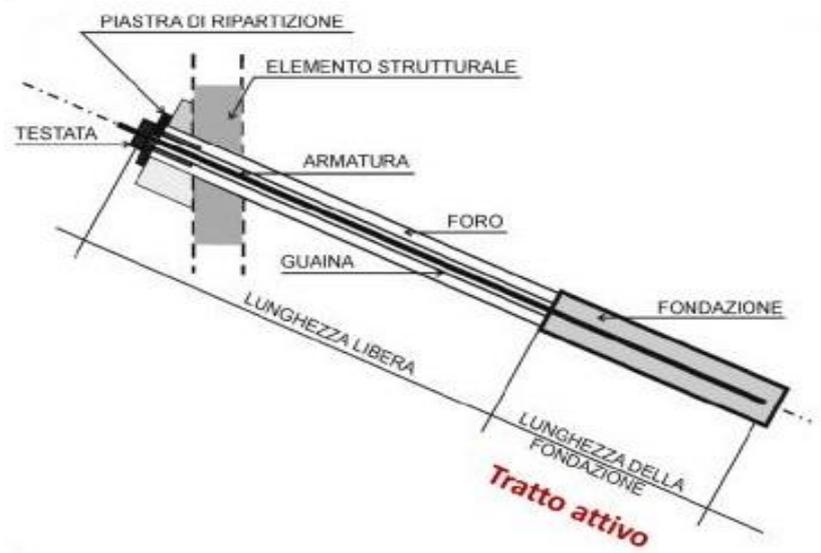


Figura 3.2. Particolare di un tirante di ancoraggio

Nel caso in esame il sistema di tiranti utilizzato è quello in cui i trefoli di acciaio armonico sono sostituiti da barre a filettatura continua del tipo DYWIDAG. (Figura 3.3)

### Tiranti permanenti

- Sistema a lunga durata per uso permanente (più di 100 anni)
- Omologato, Doppia Protezione Anticorrosione (DCP) con guaina preiniettata a fessurazione controllata
- Componenti secondo ETA 05/0123 (sistema di precompressione a barre)
- Testata omologata, sigillata per uso permanente con robusta calotta e guarnizioni
- Vari rivestimenti protettivi per la testata a seconda delle modalità di esposizione

### Campi di Impiego

- Tiranti di banchina permanenti
- Controllo delle sottospinte
- Stabilizzazione funzionale
- Costruzione di dighe
- Stabilizzazione di pareti rocciose e pendii



Figura 3.3. Tirante a barre DYWIDAG a filettatura continua

I tiranti in barre a filettatura continua DYWIDAG costituiscono un sistema attivo secondo le norme DIN 4125 e EN 1537. Il tensionamento attivo produce deformazioni anticipate del sistema, e deformazioni strutturali minime o nulle.

### *3.1. Paratia di Monte*

La paratia di monte è stata concepita quale opera di presidio con riferimento alla potenziale instabilizzazione del pendio.

La paratia di monte ha un'estensione di 200 m ed è disposta ad arco lungo la linea di livello di progetto corrispondente alla quota di + 54,5 m s.l.m., appena al di sotto del fosso di ricezione delle acque meteoriche previsto.

I pali sono disposti in doppia fila e hanno diametro 1,50 m, lunghezza 20 m e interasse di 2,00 m.

La trave di coronamento ha dimensioni  $3,00 \times 1,50$  m, su tale trave viene realizzato un ordine di tiranti permanenti di tipo attivo a barra DYWIDAG di diametro 47 mm, inclinazione di  $35^\circ$ , interasse di 2,00 m, diametro di perforazione di 0,20 m e pre-tiro applicato pari a 480 kN.

La lunghezza totale di ogni tirante è 38 m, di questi 18 m rappresentano la lunghezza libera per consentire l'immorsamento del bulbo nel terreno sicuramente stabile.

Riferimento Figura 3.1.1

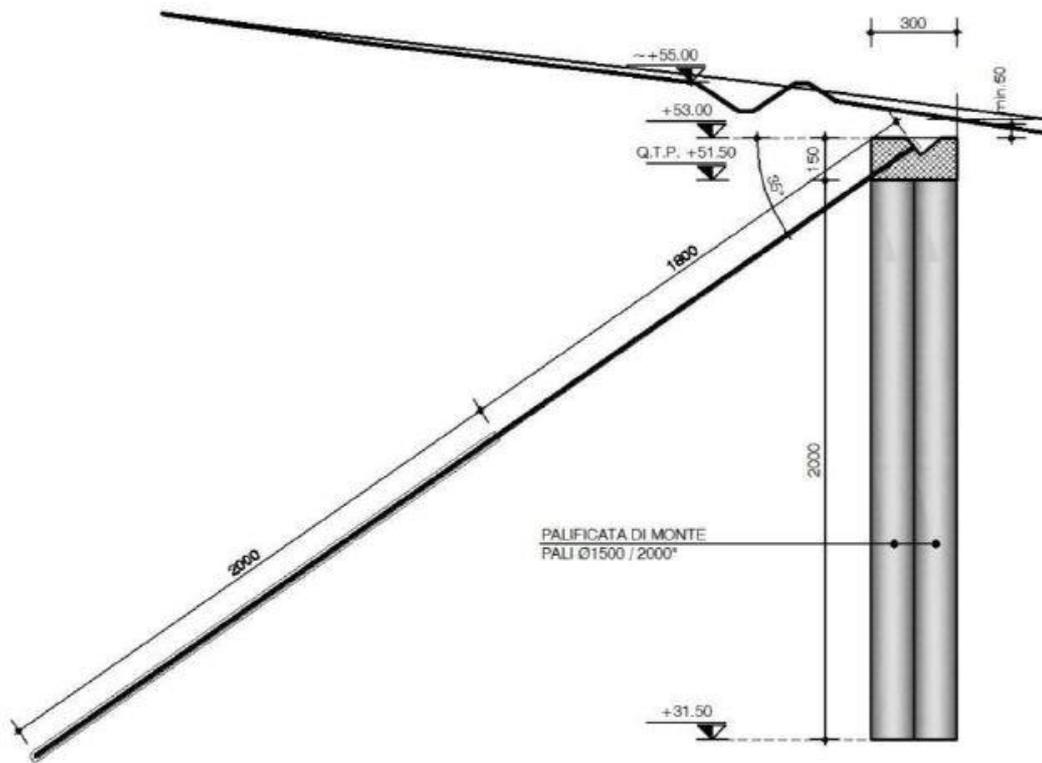


Figura 3.1.1 Sezione costruttiva – Paratia Monte

Si riportano in tabella le caratteristiche geometriche della paratia con le dimensioni dei tiranti applicati ( Tabella 3.1.1 )

PARATIA DI MONTE													
PALI			TIRANTI										
Tipologia	Dm (m)	Int (m)	Ordine	Travi di ripartizione	Tipo di barra	Dm barra (m)	Dm perforazione	Int (m)	L. libera (m)	L. bulbo (m)	L. totale (m)	Inclinazione (°)	Pre-tiro (kN)
CFA	1,5	2	1°	-	DYWIDAG	47	200	2	18	20	38	35	480

Tabella 3.1.1. Caratteristiche Geometriche – Paratia di Monte

## **4. PROBLEMATICHE E MODALITÀ OPERATIVE PREVISTE NEL PROGETTO ESECUTIVO**

La problematica principale che ha portato all'esecuzione del ripristino della paratia, risiede nel nodo palo-trave, punto molto importante per il corretto trasferimento degli sforzi degli elementi.

Da indagini effettuate nell'Agosto del 2017 sono emerse alcune problematiche; più precisamente dopo aver scavato e portato alla luce la parte sommitale dei pali, fu osservato che, in una porzione di altezza variabile fino a circa 70 cm dall'intradosso della trave di coronamento, la parte esterna del calcestruzzo costituente il fusto di alcuni pali, esibiva alcune fessurazioni che lasciavano presumere l'esistenza di una porzione ammalorata.

Una delle possibili cause che ha portato ai danni evidenziati, risiede nel disallineamento dei pali della paratia (Figura 4.1). In particolare, le notevoli dimensioni dei pali, accostati, non perfettamente allineati, hanno fatto sì che la larghezza della trave di collegamento non riusciva a coprire interamente l'impronta dei pali sottostanti, soprattutto nella zona di maggior sfalsamento, quindi per sopperire a ciò i ferri di ripresa provenienti dai pali sottostanti sono stati piegati eccessivamente così da permettere la giusta connessione palo-cordolo. (Figura 4.2)

Questo ha portato alla lesione e compromissione della qualità del calcestruzzo con conseguente inclusione da parte di materiale terroso, come si può vedere nelle foto (Figura 4.3 e 4.4).

Inoltre le condizioni meteorologiche sicuramente hanno contribuito ad aumentare il ristagno di terreno durante le operazioni di getto dell'opera, per via del dilavamento del pendio di monte.

In maniera più dettagliata, ad oggi gli esami condotti su 49 pali ha evidenziato che 9 di essi, sarebbero interessati da lesioni e il 18% di essi era interessato dalla presenza di inclusioni terrose nella zona sommitale per uno spessore maggiore di circa 30 cm.



Figura 4.1. Disallineamento dei pali



Figura 4.2. Particolare dei ferri piegati connessine palo - trave



Figura 4.3 Inclusioni terrose nella connessione palo-trave

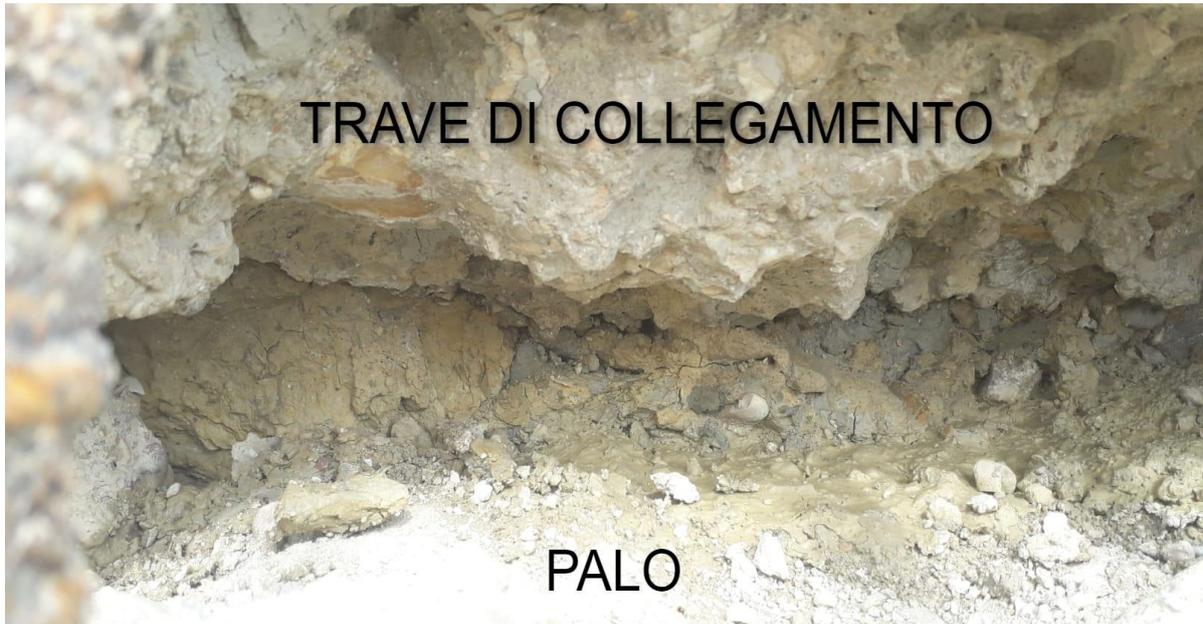


Figura 4.4. Inclusioni terrose nella connessione palo-trave

#### *4.1. Progetto del ripristino della paratia*

Di seguito vengono illustrate le fasi operative adottate per il ripristino della continuità strutturale tra i pali e la trave di coronamento della paratia di monte facente parte del costruendo nuovo complesso ospedaliero di Ancona sud presso il comune di Camerano.

Le fasi descritte di seguito, hanno come scopo il ripristino delle condizioni previste nel progetto esecutivo, coerentemente con i vincoli del progetto depositato al Genio Civile, in tale ambito tutte le lavorazioni e le tecnologie adottate, per la realizzazione dei ripristini, danno ampie garanzie che il risultato sia conforme a quanto previsto e schematizzato in fase di progetto.

Le fasi di seguito individuate sono state eseguite su ogni tratto della spezzata che compone la paratia di monte in planimetria, individuando in tal modo 7 lotti di intervento, che sono stati eseguiti partendo con una sequenza da nord verso sud, come si individua in Figura 4.1.1.

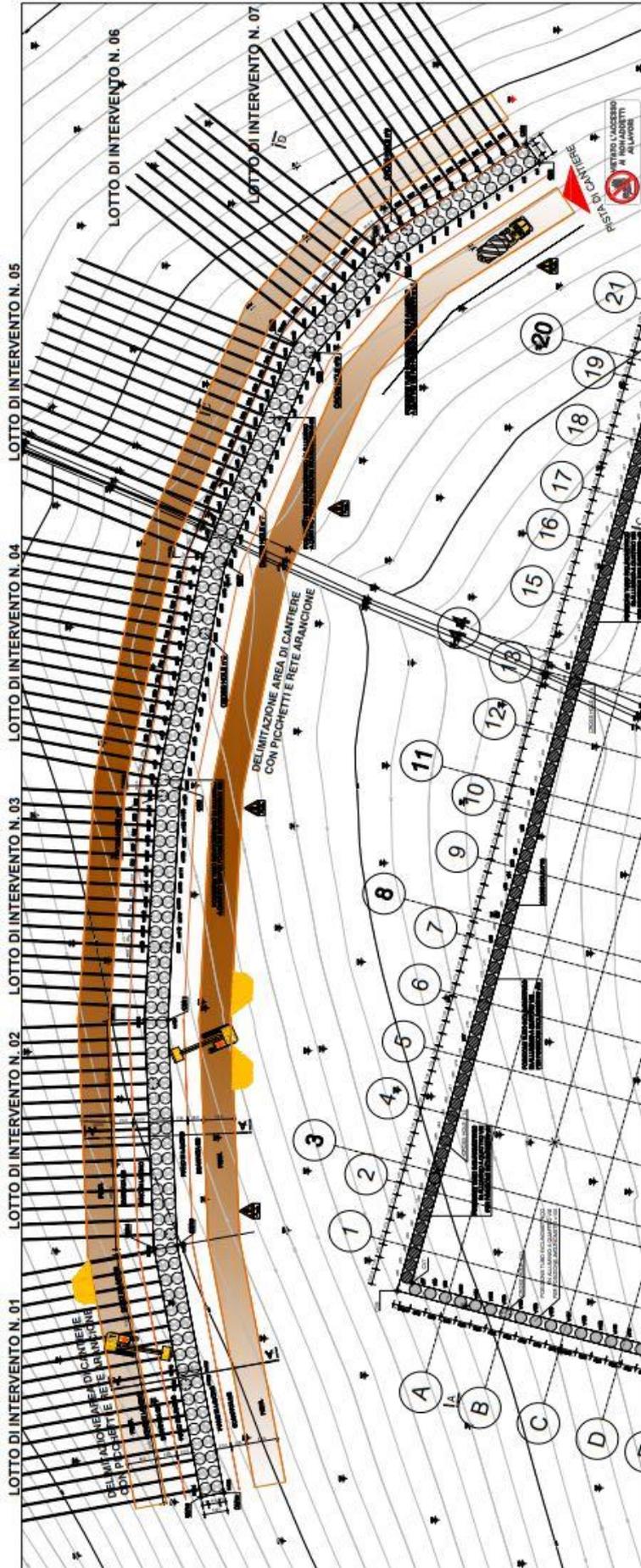


Figura 4.1.1. Suddivisione dell'intervento in conici della paratia di monte

Le fasi, per ogni singolo lotto prevedevano:

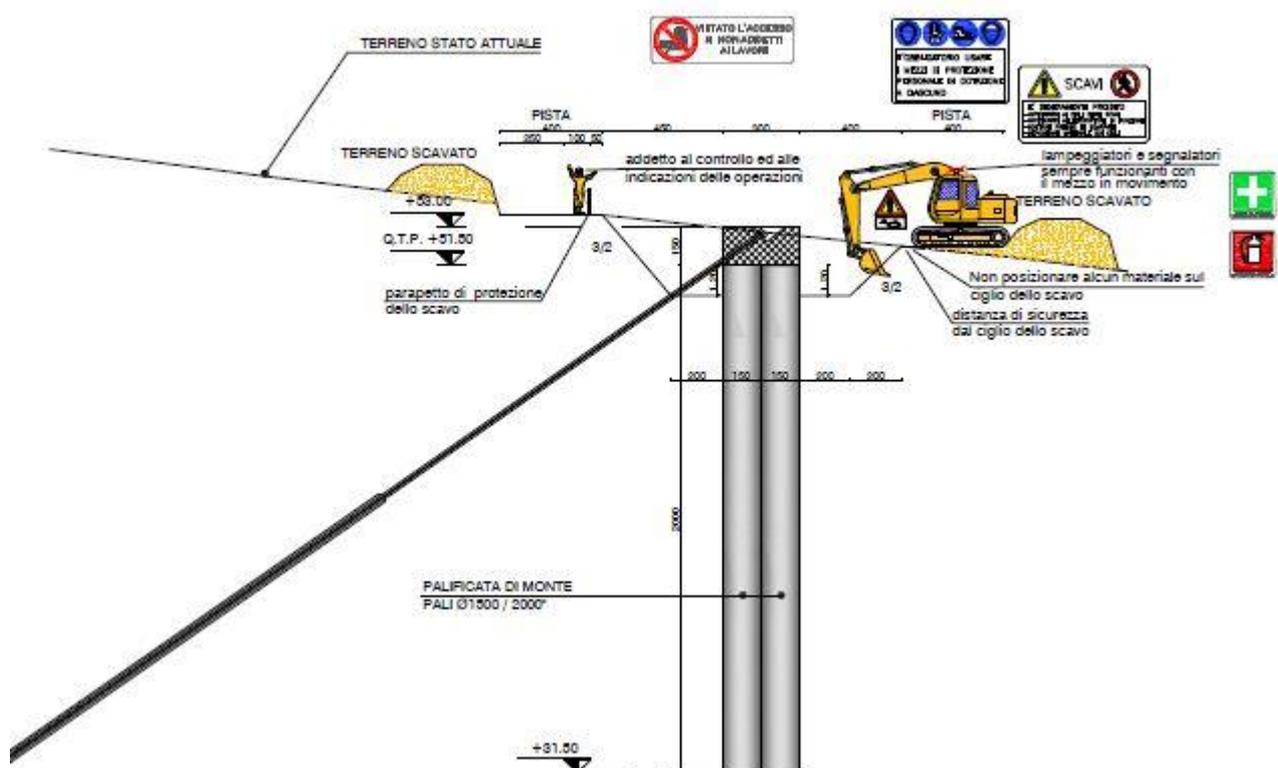
## FASE 1: SCAVO IN ADIACENZA DELLA PARATIA LATO MONTE E VALLE

### SEZIONE A-A

SCALA 1:200

### FASE 1

- SCAVO IN ADIACENZA DELLA PARATIA DI MONTE SIA LATO MONTE CHE LATO VALLE  
PER UNA SEZIONE TALE DA CONSENTIRE LE SUCCESSIVE ATTIVITA' LAVORATIVE IN SICUREZZA



In questa prima fase si è effettuato lo scavo, ovvero l'asportazione di terreno adiacente alla paratia sia lato monte che lato valle, di altezza compresa tra 2,50 m e 3,00 m, in modo tale da avere una sezione per consentire le successive attività lavorative in sicurezza.

Nel lato monte della paratia, lo scavo è stato effettuato con particolare cautela per la presenza dei tiranti, al fine di escludere urti / rotture del tirante o della guaina che riveste il tirante; inoltre il caratteristico funzionamento dell'opera di sostegno, ha consentito di operare senza il preventivo detensionamento dei tiranti in quanto le lavorazioni non hanno determinato un cambiamento dello stato tensionale del sistema tirante-trave palo.

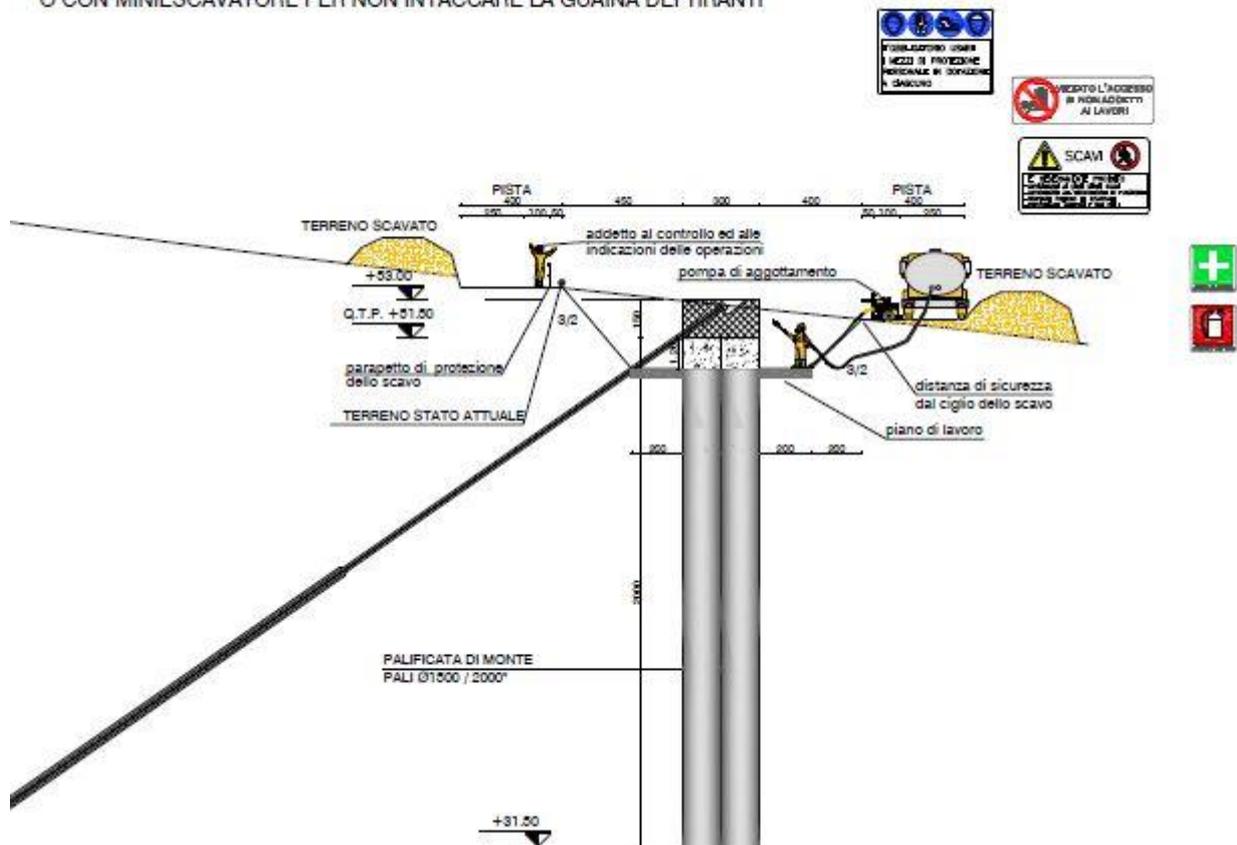
## FASE 2: IDRODEMOLIZIONE / IDROSCARIFICA

### SEZIONE A-A

SCALA 1:200

### FASE 2

- IDRODEMOLIZIONE/IDROSCARIFICA DELLE SEZIONI DI PALO PER MEDIAMENTE 120 CM DI ALTEZZA DALL'INTRADOSSO DELLA TRAVE PER METTERE A NUDO LE PARTI INTERESSATE AL RIPRISTINO
- LO SCAVO IN ADIACENZA ALLE GUAINE DEI TIRANTI SARA' ESEGUITO CON IDRODEMOLIZIONE O CON MINIESCAVATORE PER NON INTACCARE LA GUAINA DEI TIRANTI



Una volta aver effettuato l'operazione di scavo si è passati alla fase di pulizia ovvero idrodemolizione/idroscarifica con lancia a pressione variabile, delle sezioni di palo scoperte con lo scavo della precedente fase, al fine di mettere a nudo le parti interessate al ripristino. L'altezza interessata dal ripristino è stata di 60-80 cm dall'intradosso della trave.

Nel lato monte, tale operazione di lavaggio, non ha determinato un cambiamento dello stato di tensionamento del tirante in quanto, in ragione della natura tridimensionale del funzionamento dell'opera di sostegno e non di meno della fasizzazione a "tratti" della lavorazione è stato possibile escludere ogni torsione della testa della trave ovvero la plasticizzazione del nodo trave-palo.

Si specifica che l'idrodemolizione/idroscarifica con lance a pressione variabile è in grado di rimuovere, in maniera selettiva, senza provocare vibrazioni dannose e senza danneggiare i ferri d'armatura presenti, tutto il calcestruzzo che sarà necessario rimuovere e le inclusioni eventualmente presenti.

L'utilizzo di tale tecnologia, estesa a tutta la paratia di monte ha permesso di scoprire tutti i pali completando l'indagine iniziata in precedenza. La metodologia utilizzata per l'intervento di pulizia è stata calibrata direttamente in cantiere, attraverso una serie di operazioni di taratura sulle prime teste dei pali da trattare, in maniera tale da non dover danneggiare il calcestruzzo non ammalorato.

Per l'accettazione e il completamento della fase di idroscarifica si è fatto riferimento ai risultati di prove puntuali non distruttive in particolare prove sclerometriche.

Si è provveduto in necessità all'utilizzo di idrovore, ovvero un tipo di pompa usata per captare l'acqua di risulta dell'operazione di idrolavaggio e nell'eventualità predisporre uno strato di magrone.

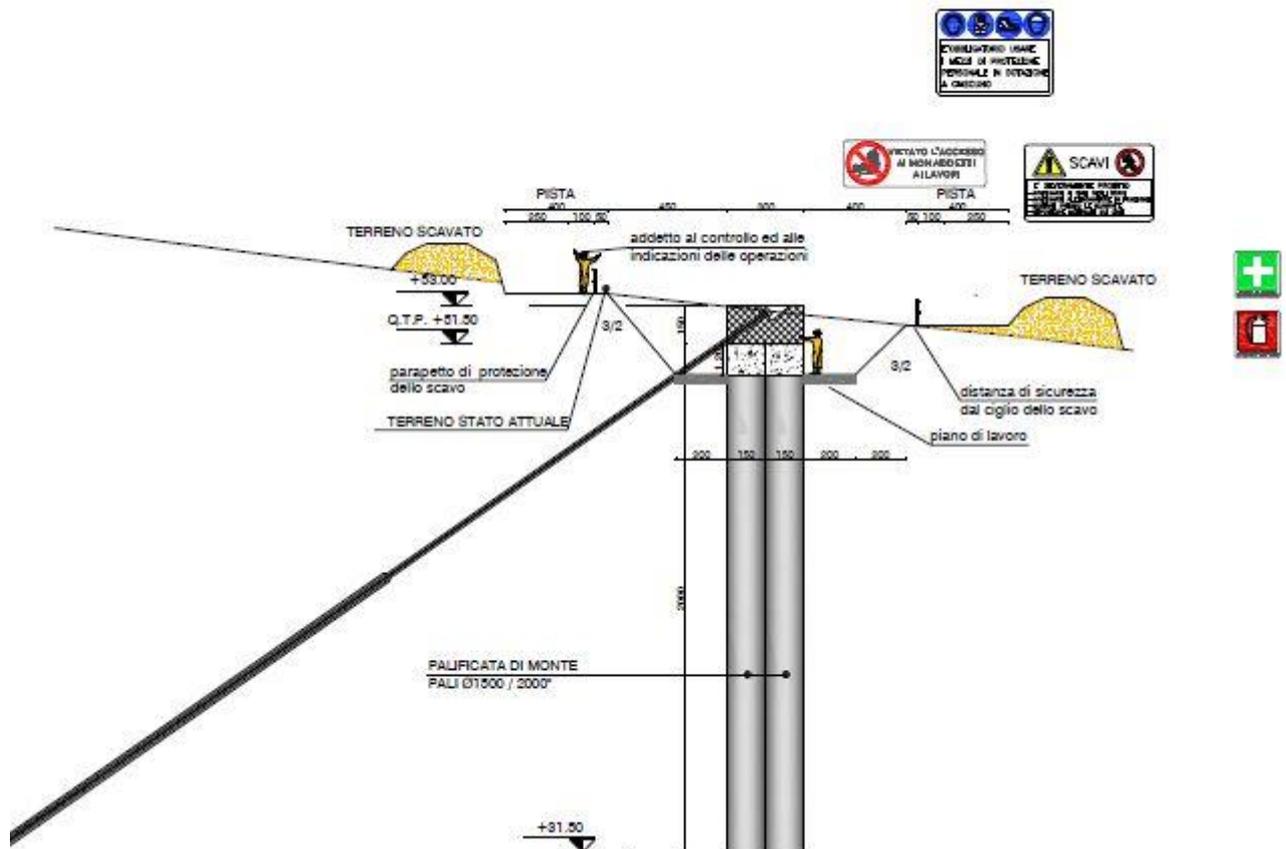
### FASE 3: TRATTAMENTO E PASSIVAZIONE FERRI

#### SEZIONE A-A

SCALA 1:200

#### FASE 3

- CICLO DI TRATTAMENTO E PASSIVAZIONE DEI FERRI CHE VERRANNO SCOPERTI CON MALTA CEMENTIZIA TIPO MAPEFER 1K DELLA MAPEI O EQUIVALENTE



Ciclo di trattamento e passivazione dei ferri che sono stati scoperti e ripuliti nella fase precedente, tramite malta Mapefer 1k.

#### FASE 4: RIEMPIMENTO DEI VUOTI

Per via della rimozione delle inclusioni di terreno, talvolta si sono creati dei vuoti nella struttura in cemento armato che sono stati intasati con malta di tipo Mapegrout Betontech HPC10.

## FASE 5: INSERIMENTO ARMATURE AGGIUNTIVE

Era previsto l'inserimento di armature aggiuntive in acciaio B450C inghisate con resina Hilti Hit – Re 500 o equivalente, in modo tale da poter garantire la continuità della sezione e del relativo getto di calcestruzzo.

Per quanto riguarda la parte degradata era prevista una delle tre tipologie elencate di seguito:

- Condizioni analoghe a quanto risulta dalla campagna di indagini come riportato in Figura 4.1.2;
- Condizioni di ripristino del solo copriferro;
- Condizioni di completa separazione tra testa palo e trave.

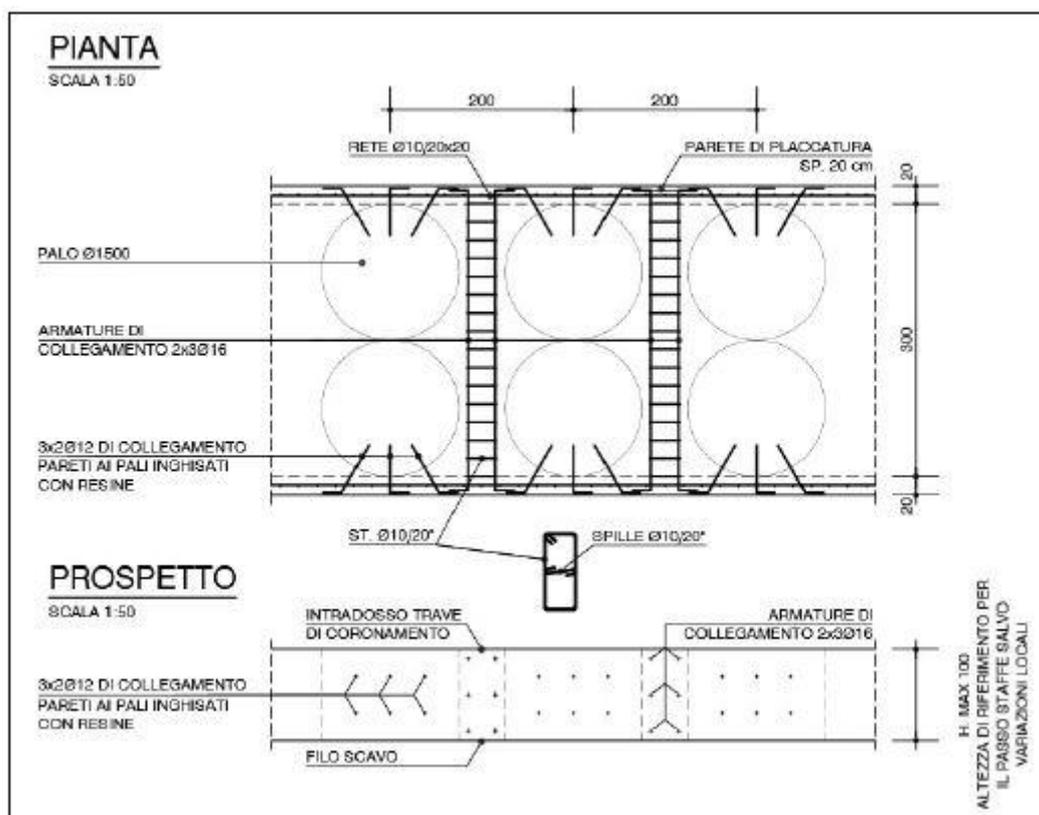


Figura 4.1.2. Schema rappresentante le armature aggiuntive.

Le armature aggiuntive dovevano garantire il collegamento tra i pali e le pareti di placcatura esterne realizzate in corrispondenza dei fili esterni della trave di collegamento e come aiuto nel getto aggiuntivo rispetto all'intera opera.

#### **FASE 6: POSZIONAMENTO RETE ELETTROSALDATA**

In questa fase si è posizionata la rete elettrosaldata sul filo esterno tangente ai pali, su tutta la lunghezza della trave di coronamento e da ambedue i lati.

#### **FASE 7: CASSERATURA**

Prima del getto di calcestruzzo sono stati posizionati i casseri per contenere il calcestruzzo durante il getto e per sostenere il materiale durante la presa e l'indurimento, al fine di conferire al calcestruzzo stesso la forma desiderata.

#### **FASE 8: GETTO DI CALCESTRUZZO**

Una volta posizionate le casseformi, si è passati al getto di calcestruzzo C28/35 classe XC3 S5. Il getto è stato effettuato fino al completo intasamento di tutti i volumi idrolavati, quindi riguardanti le teste dei pali che sono state pulite e i volumi interclusi ovvero volume che si trova racchiuso tra un palo e l'altro.

Il copriferro minimo che è stato scelto a livello progettuale è di 5 cm rispetto alle armature aggiuntive e sia alle armature che erano già presenti.

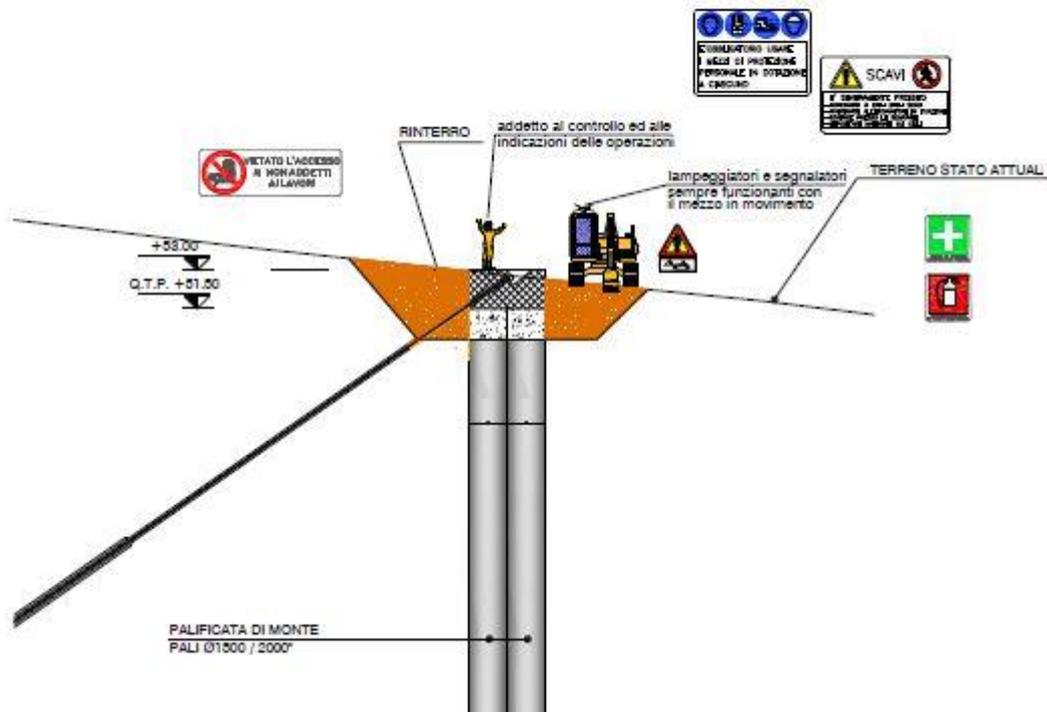
## FASE 9: RINTERRO

### SEZIONE A-A

SCALA 1:200

### FASE 9

- RINTERRO DELLE ZONE SCAVATE
- RINTERRO CON MATERIALE ARIDO FINO ALLA COPERTURA DEI TIRANTI E CON MATERIALE PROVENIENTE DAGLI SCAVI FINO AL RIPRISTINO DELLE QUOTE ANTE OPERAM
- SUCCESSIVA SISTEMAZIONE CON TERRENO PROVENIENTE DAGLI SCAVI



La penultima fase è consistita nell'apportare del materiale arido all'interno della sezione dello scavo, fino alla completa copertura dei tiranti opportunamente compattato fino al ripristino delle quote presenti prima dell'opera.

## FASE 10: VERIFICA TIRANTI

In quest'ultima fase si è effettuata la verifica della tesatura dei tiranti, in misura del 10 % di quelli coinvolti dagli interventi. Questa verifica si è resa necessaria per accettare che il tiro dei tiranti non abbia risentito delle fasi di ripristino eseguite. In caso contrario, si sarebbe proceduto con il controllo e la ritesatura di tutti i tiranti.

## 5. ESECUZIONE DELLE FASI

Si riporta in questo paragrafo la descrizione delle problematiche che si sono riscontrate durante le fasi di lavoro che sono state elencate e definite nel paragrafo antecedente a questo e di conseguenza le opportune soluzioni che sono state adottate ed eseguite.

Come detto in precedenza, le lavorazioni che sono state effettuate, sono state eseguite su porzioni di porzioni di paratia, precisamente 7; in questo paragrafo ci soffermeremo ad analizzare il lotto numero 2, come rappresentato nella (Figura 5.1), da cui sono iniziate le lavorazioni di ripristino, dato che dalle indagini che sono state effettuate, questo lotto presentava le maggiori problematiche, ovvero aveva un numero elevato di pali danneggiati rispetto agli altri lotti.

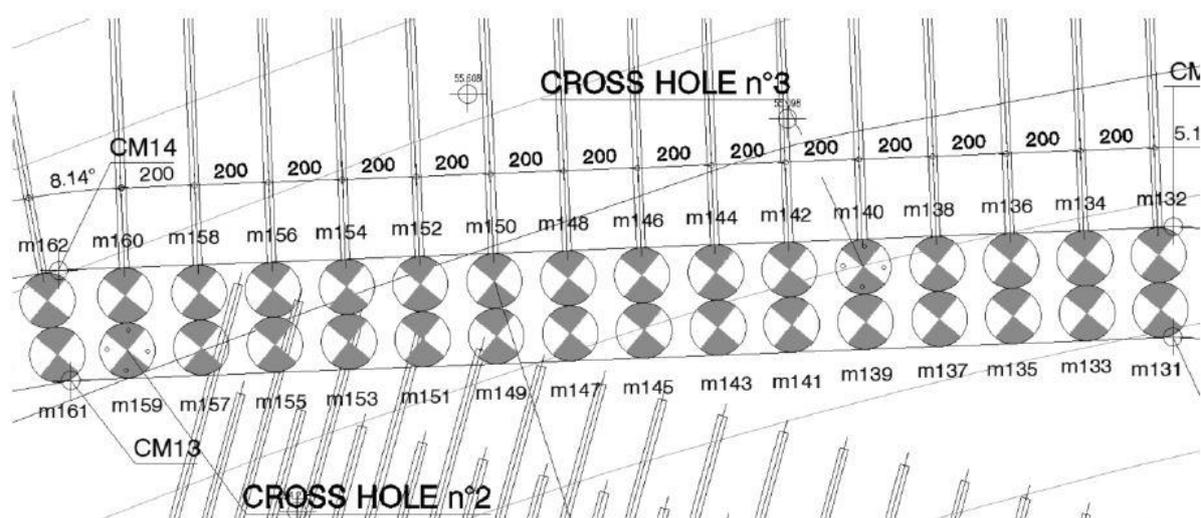


Figura 5.1. Concio 2

Possiamo inoltre fare una considerazione generale, sui tempi di lavorazione; per il suddetto concio, il tempo impiegato per l'opera di ripristino è stato di 3 mesi, un tempo maggiore rispetto al relativo tempo impiegato per i restanti lotti che è stato dell'ordine di 2 mesi. Questa differenza di tempistiche risiede innanzitutto nella presenza di maggior problematiche a livello di ammaloramento, in più essendo il primo lotto d'intervento c'era bisogno di una messa a punto sulla metodologia delle lavorazioni, preparazione del cantiere e quindi piste, scelta degli spazi in funzione degli ingombri delle attrezzature etc. e non da ultimo verificare la fattibilità delle fasi elencate nella parte progettuale rispetto alla realtà del cantiere.

## **5.1. Predisposizione area cantiere**

Prima di partire con l'attività di scavo è stato opportuno predisporre l'area di cantiere andando quindi ad operare sul versante a monte della paratia.

La finalità di fare suddetta operazione è quello di proteggere l'intervento di ripristino, dall'acqua di ruscellamento proveniente dal versante per questo si è predisposto un cordolo di terra a monte della paratia, come in generale nella Figura 5.1.1 e più dettagliatamente in Figura 5.1.2.



Figura 5.1.1. Area cantiere



Figura 5.1.2. Particolare dello scavo e cordolo in terra

Inoltre, la presenza di acqua a monte della paratia con o senza trasporto solido, rappresenta un problema su cui porre attenzione, poiché il flusso idraulico potrebbe indurre cedimenti importanti sulle strutture esistenti e sulle opere presenti nelle zone degli scavi.

Per questo motivo prima dell'operazione di scavo si è studiata anche la possibilità di provvedere ad un sistema di drenaggio. I tubi di drenaggio come si può vedere in Figura 5.1.3 e in planimetria Figura 5.1.4, sono stati disposti in maniera ortogonale alla trave di coronamento, inoltre sono stati collegati da un collettore che ha lo scopo di convogliare le acque nell'unico pozzetto ad oggi presente, così da evitare la realizzazione di una trincea drenante e la collocazione di un tubo drenante longitudinalmente alla paratia.



Figura 5.1.3. Tubo di drenaggio

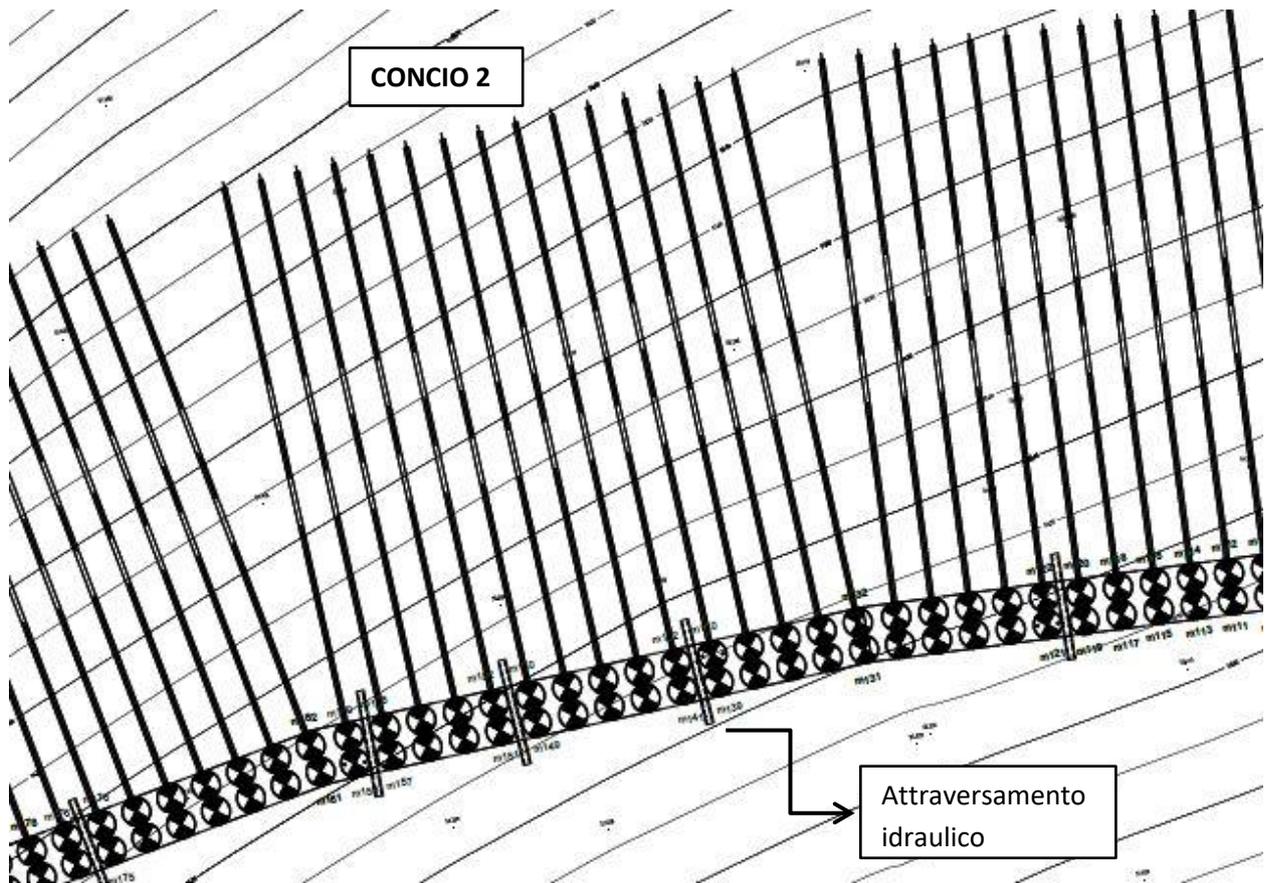


Figura 5.1.4. Planimetria pali con relativi attraversamenti idraulici

Una possibilità che poi è stata scartata, era quella di posizionare il tubo drenante longitudinalmente alla paratia con successivo inserimento di geotessile, ovvero un materiale artificiale composto da fibre sintetiche impotrescibili con uno strato filtrante e drenante; ma questa soluzione è stata scartata poiché il geotessuto si sarebbe potuto ostruire nel giro di poco tempo per via del materiale argilloso presente a monte della paratia.

Inoltre il pozzetto di scarico dove si sarebbe dovuto collettare il tubo di drenaggio si trova su di un lato della costruzione: ipotizzando una pendenza del tubo di drenaggio del 3%, essendo la paratia lunga 200 m, si sarebbe arrivati ad una massima profondità di scavo, per posizionare il pozzetto di scarico, pari a 6 m, altezza non compatibile con l'altezza di scavo oggetto di valutazione e verifica, pari a 1,50 m / 2,00 m.

Altra modalità di disposizione del tubo che era stata valutata era a “schiena d’asino”, ma pur inserendo due pozzetti di scarico alle estremità, considerando una pendenza del 3%, si sarebbe arrivati comunque a una profondità dello scavo di 4,50 m sempre incompatibile con le altezze di scavo valutate e verificate.

## 5.2. Scavo

Una volta aver terminato la fase di preparazione del cantiere si è passati all'attività di scavo secondo lo schema che è riportato in Figura 5.2.1. Lo scavo è a sezione obbligata e di altezza circa 2,70 m ovvero risultato tra 1,50 m di altezza della trave di coronamento e 1,20 m di profondità all'intradosso della trave di coronamento. La scarpata dello scavo ha un rapporto di 3/2 coerentemente con i parametri geotecnici e resa praticabile in modo tale da effettuare le lavorazioni.

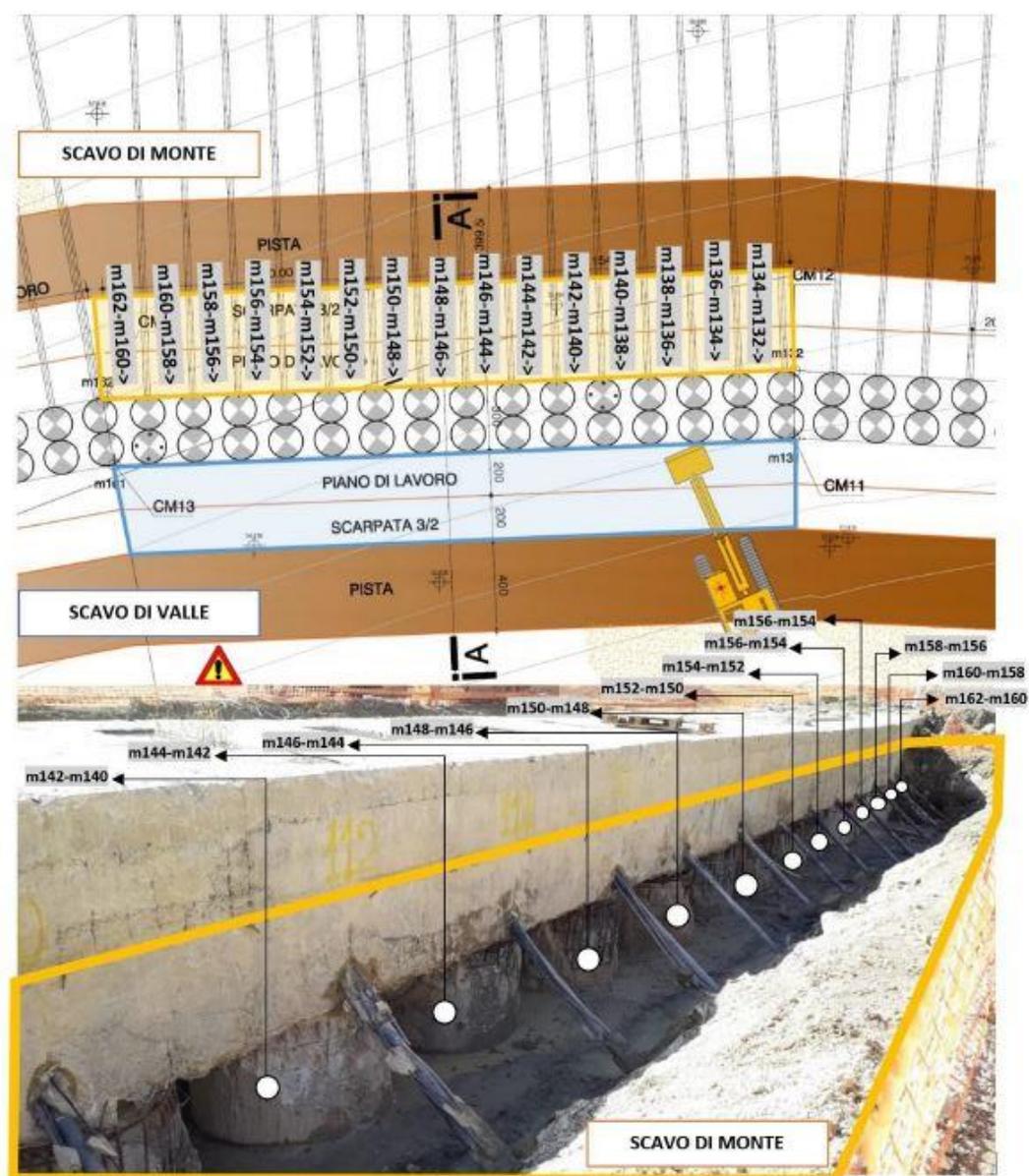


Figura 5.2.1. Schema fase di scavo concio 2

### 5.2.1. Scavo lato Valle

L'attività di scavo nella parte di valle è stata effettuata con mezzi meccanici per via dell'assenza su questo lato dei tiranti.

Lo scavo è stato realizzato andando a posizionare l'escavatore sopra la trave di collegamento come si può vedere in Figura 5.2.2; l'operatore che si trovava all'interno del mezzo, muoveva la benna controllando precisamente la porzione di terreno da dover rimuovere, aiutato da un secondo operatore a valle che coordinava il collega sul mezzo. Nella Figura 5.2.5 si può vedere la sezione di scavo lato valle ultimata e resa praticabile in modo tale da poter effettuare le lavorazioni.



Figura 5.2.2. Scavo lato valle con mezzo meccanico

### 5.2.2. Scavo lato Monte

In questo lato della paratia abbiamo la presenza dei tiranti e per questa motivazione non si è potuto utilizzare nella totalità i mezzi meccanici come nel lato valle, per non rischiare di rompere o lesionare il rivestimento e quindi la guina del tirante. Gli operatori hanno dovuto procedere manualmente per rimuovere le porzioni di terreno sia in prossimità dei tiranti che nell'intercapedine tra i pali e tra un coppia di pali e l'altra. Figura 5.2.3



Figura 5.2.3. Scavo lato monte con mezzi manuali

Lo scavo finale lato monte e lato valle è riportato rispettivamente nelle Figure 5.2.4 e 5.2.5.



Figura 5.2.4. Scavo lato monte terminato



Figura 5.2.5. Scavo lato valle terminato

### 5.2.3. Tempi medi di intervento

Andiamo ad analizzare i tempi impiegati per l'intervento di scavo, diviso per lato valle dove è stata effettuata tramite mezzi meccanici e quello di monte effettuato manualmente.

PARATIA DI MONTE - CONCIO 2					
NOME LOTTO	LATO PARATIA	N° PALI TRATTATI (Tot. Per lato concio)	TEMPO MEDIO (Giorno)	N° ADDETTI (Unità)	UOMINI GIORNO (N° addetti per tempo)
2	Valle	15	1	2	2
2	Monte ed intercapedine	15	6	4	24

Tabella 5.2.1. Tempi di scavo lato monte e valle della paratia di monte

Come possiamo vedere nella Tabella 5.2.1 sia per quanto riguarda il numero degli addetti e per le tempistiche di intervento, lo scavo lato monte è risultato particolarmente gravoso a causa, come detto, della presenza dei tiranti, in termini di coinvolgimento delle risorse impiegate, ovvero uomini giorno.

Da precisare inoltre che, per evitare sovrapposizioni e per ragioni di sicurezza si è deciso di intervenire realizzando prima lo scavo di valle e poi quello di monte.

Analizzati i dati riguardanti il lotto oggetto di studio in cantiere, è stato possibile estrapolare una tabella riassuntiva sulla stima della durata complessiva delle lavorazioni sull'intera paratia di monte; nella Tabella 5.2.2. in cui vengono riepilogate le tempistiche di intervento lato valle, possiamo notare che il tempo medio di intervento dei lotti dall'1 al 5 con numero di pali compreso tra 15 e 17, è stato identico al concio 2. In questa ipotesi è stato valutato come trascurabile il contributo aggiuntivo alle tempistiche di lavorazione dei quattro pali aggiuntivi del lotto 1 visto e considerato l'utilizzo del mezzo meccanico.

Mentre se andiamo a considerare i lotti 6 e 7 con un numero complessivo di pali rispettivamente di 8 e 11, si sono considerati a titolo cautelativo 1 giornata di lavoro per la pulizia del lato monte associandola come unità di minimo intervento, arrotondando quindi la mezza giornata effettiva di lavoro ad 1.

<b>PARATIA DI MONTE - LATO VALLE</b>				
<b>NOME LOTTO</b>	<b>N° PALI TRATTATI (Tot. Per lato concio)</b>	<b>TEMPO MEDIO (Giorno)</b>	<b>N° ADDETTI (Unità)</b>	<b>UOMINI GIORNO (N° addetti per tempo)</b>
1	17	1	2	2
2	15	1	2	2
3	16	1	2	2
4	15	1	2	2
5	15	1	2	2
6	8	1	2	2
7	11	1	2	2
<b>TOTALE</b>	<b>97</b>	<b>7</b>	<b>14</b>	<b>14</b>

Tabella 5.2.2. Tempi di scavo lato valle della paratia di monte

Per quanto riguarda le tempistiche di intervento per la fase di scavo lato monte che sono riportate nella Tabella 5.2.3, visto e considerato l'utilizzo anche di mezzi manuali, il calcolo è stato effettuato tramite proporzione:

$$(UG)_{LOTTO\ 2} : (N^{\circ}\ pali)_{LOTTO\ 2} = (UG)_{LOTTO\ X} : (N^{\circ}\ pali)_{LOTTO\ X}$$

UG = uomini giorno [n° di addetti per tempo medio]

<b>PARATIA DI MONTE - LATO MONTE ed INTERCAPEDINE PALI</b>				
<b>NOME LOTTO</b>	<b>N° PALI TRATTATI (Tot. Per lato concio)</b>	<b>TEMPO MEDIO (Giorno)</b>	<b>N° ADDETTI (Unità)</b>	<b>UOMINI GIORNO (N° addetti per tempo)</b>
1	17	7	4	28
2	15	6	4	24
3	16	6,5	4	26
4	15	6	4	24
5	15	6	4	24
6	8	3	4	12
7	11	5	4	20
<b>TOTALE</b>	<b>97</b>	<b>39,5</b>	<b>28</b>	<b>158</b>

Tabella 5.2.3. Tempi di scavo lato monte della paratia di monte

Riassumendo i tempi impiegati sono stati:

- Scavo lato monte: una settimana
- Scavo lato valle: circa un mese e 10 giorni

In realtà le varie fasi del ripristino riportate nel paragrafo 4.1 sono state eseguite prima sul lotto due in modo da permettere all'impresa e alla direzione lavori di calibrare il metodo di scavo più opportuno, in modo da utilizzarlo in maniera sicura ed efficace per gli altri lotti a seguire.

### 5.3. Prova sclerometrica

La prova sclerometrica permette di eseguire un'analisi della qualità del calcestruzzo in opera al fine di stimare le caratteristiche meccaniche del materiale. L'indagine con lo sclerometro Ectha 1000 si basa sulla misura della "durezza" superficiale del materiale espressa in termini di "Indice di Rimbalzo" ; rientra inoltre, tra le metodologie non distruttive in quanto l'esecuzione della prova, non arreca danni alle strutture ed al funzionamento delle opere.

In questo caso ha permesso di valutare l'uniformità del calcestruzzo, delineare zone o aree di calcestruzzo di scarsa qualità o deteriorato, nonché stimare la resistenza a compressione del calcestruzzo in opera, correlando i risultati ottenuti con la prova sclerometrica ai risultati di prove a compressione sui carotaggi effettuati prima dell'inizio dei lavori di ripristino.

#### 5.3.1. Descrizione strumentazione

Lo sclerometro consiste in un corpo cilindrico in alluminio nel cui interno è alloggiata una massa battente in acciaio che, azionata da una molla, contrasta un'asta di



Figura 5.3.1.1. Sclerometro "ECTHA 1000"

percussione a contatto con la superficie di prova del calcestruzzo; questa viene premuta sulla superficie fino al limite della sua corsa, contemporaneamente la massa interna guidata dall'asta di scorrimento e

tirata dalla molla colpisce il materiale rimbalzando ad una certa distanza che viene segnalata da un indice su una scala graduata (Figura 5.3.1.1).

Si possono riassumere nella Tabella 5.3.1.1 le seguenti caratteristiche:

<b>SCLEROMETRO ECTHA 1000</b>	
<b>Modello</b>	Sclerometro meccanico di tipo N
<b>Dimensioni</b>	34 x 8 x 12
<b>Peso</b>	1,10 kg
<b>Range Misura</b>	5-120 N·mm <sup>2</sup>
<b>Energia di Impatto</b>	2,207 N·m
<b>Limiti Utilizzo</b>	Spessori maggiori di 120 mm

Tabella 5.3.1.1. Caratteristiche sclerometro ECTHA1000

Oltre allo sclerometro, l'apparecchiatura minima è composta da:

- *Incudine di taratura* ovvero un'incudine di acciaio mediante la quale viene verificato il corretto funzionamento dello sclerometro prima, durante e dopo le operazioni di indagine;
- *Pietra abrasiva* al carburo di silicio con tessitura granulare media, ovvero materiale equivalente, con la quale regolarizzare la superficie "nuda" del calcestruzzo prima della prova;

### 5.3.2. Esecuzione prova

La procedura di prova è:

1. Selezionare l'area di prova, lo spessore dell'elemento da sottoporre ad indagine deve essere maggiore uguale a 100mm. L'area da sottoporre a prova deve essere asciutta ed evitare aree con presenza di elevate cavità, nidi di ghiaia, sfaldatura, elevata porosità. Inoltre evitare le zone con sospetta presenza di carbonatazione; nel caso sia individuata successivamente l'esecuzione della prova, ripetere la sessione di misure.
2. Eseguire la verifica della calibrazione registrando i valori attraverso l'incudine di taratura.
3. Posizionare lo sclerometro in posizione orizzontale assicurandosi che il pistone battente (perno di impatto) assuma una posizione ortogonale alla superficie di



Figura 5.3.2.1. Prova sclerometrica

prova e orientamento dello strumento.

prova. Esercitare pressione sul tubo esterno spingendolo contro la superficie sino ad attendere l'impatto della massa interna sul pistone battente. Figura (5.3.2.1)

4. Premere il pulsante esterno di blocco.

5. Leggere nella scala graduata il valore indice di rimbalzo e registrare il valore; è bene inoltre, annotare la posizione della stazione di

Bisogna eseguire un numero minimo di 9 battute con lo sclerometro ed esaminare le superfici di impatto assicurandosi che non siano presenti aree frantumate a causa della presenza di vuoti sub-superficiali. In caso affermativo, scartare il valore acquisito.

### *5.3.3. Risultati della prova*

Nel lotto 2, le prove sono state effettuate una volta realizzato lo scavo e soprattutto in punti ben precisi; i risultati ottenuti e i punti dove sono state effettuate le prove sono racchiusi nei seguenti grafici, nelle Figure (5.3.3.1, 5.3.3.2, 5.3.3.3, 5.3.3.4).

Dai grafici possiamo individuare una linea di colore viola, che rappresenta la resistenza meccanica attesa dal calcestruzzo utilizzato in fase di costruzione della paratia di monte, ovvero C25/30. Tutte le prove hanno restituito un valore maggiore o uguale a tale limite quindi il calcestruzzo ha mantenuto la sua resistenza meccanica.

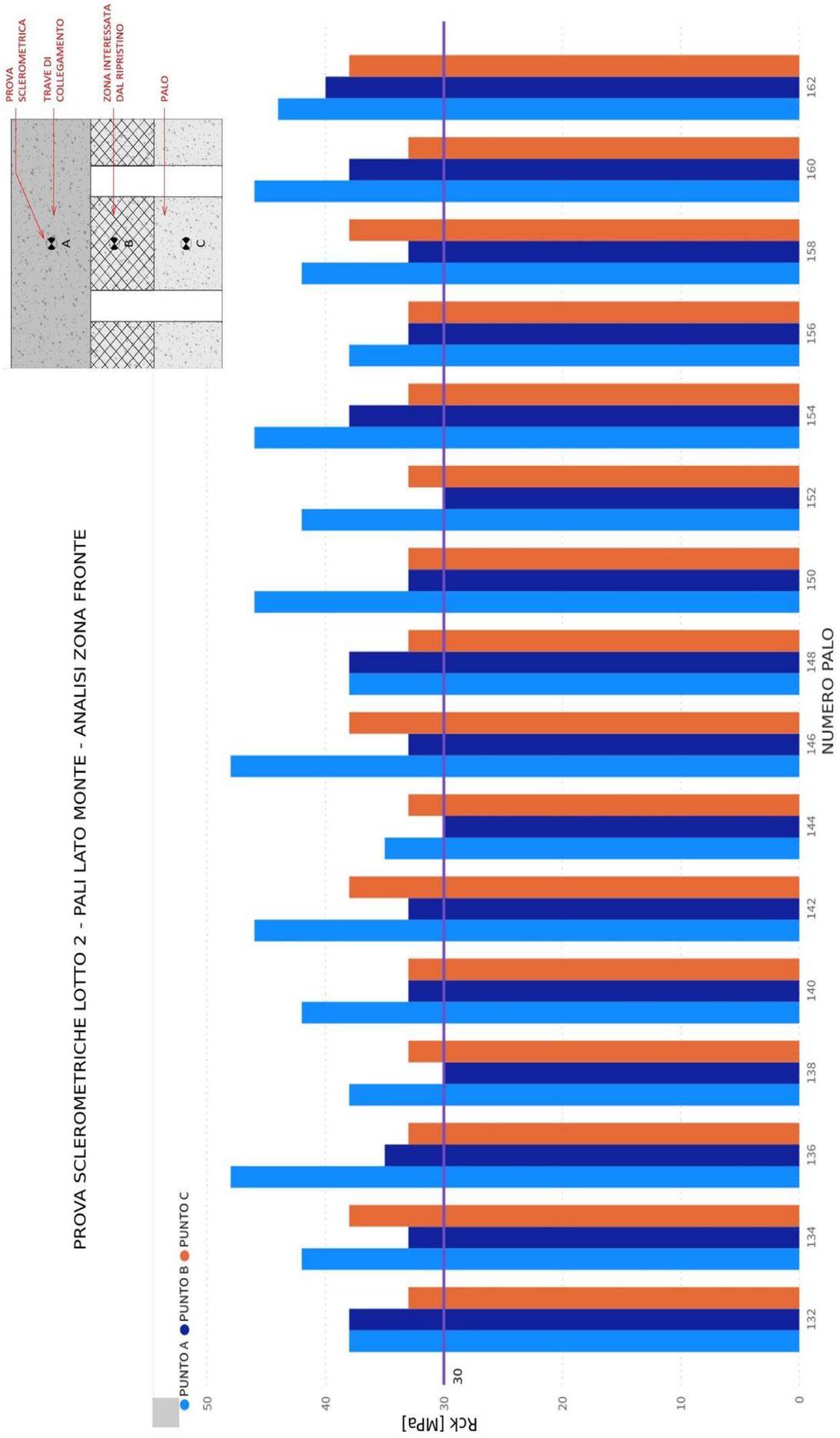
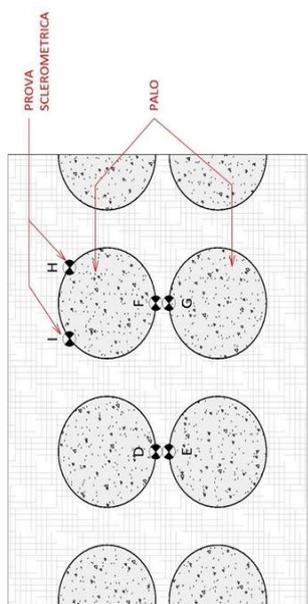


Figura 5.3.3.1. Prove sclerometriche lato monte - analisi zona fronte.  
 (i punti A, B e C nello schema in alto a destra rappresentano i punti di misura)



PROVE SCLEROMETRICHE LOTTO 2 - PALI LATO MONTE - ANALISI ZONA INTERNA E MONTE

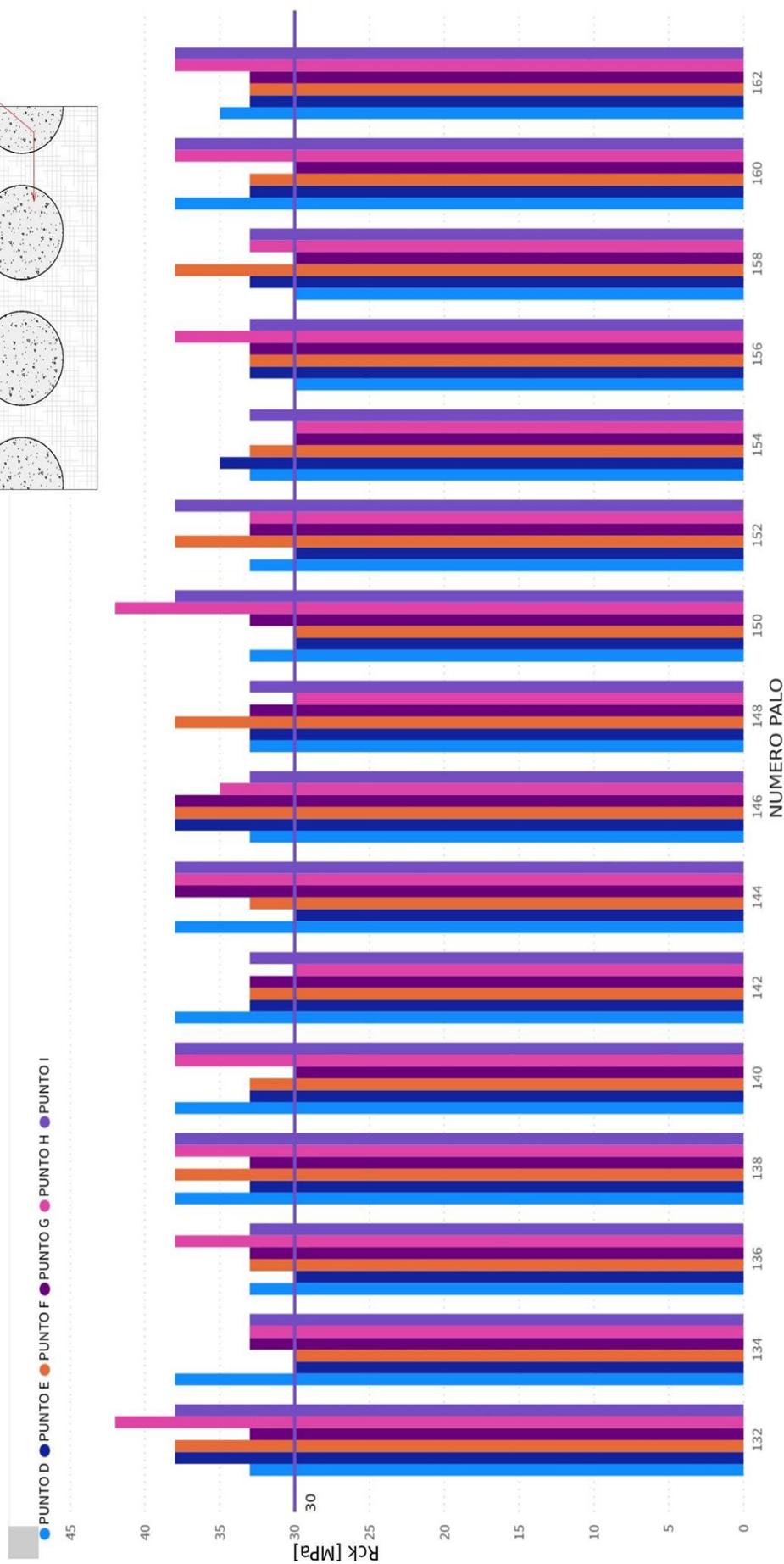


Figura 5.3.3.2. Prove sclerometriche lato monte- analisi zona interna e monte.  
 (i punti D, E, F, G, H nello schema in alto a destra rappresentano i punti di misura)

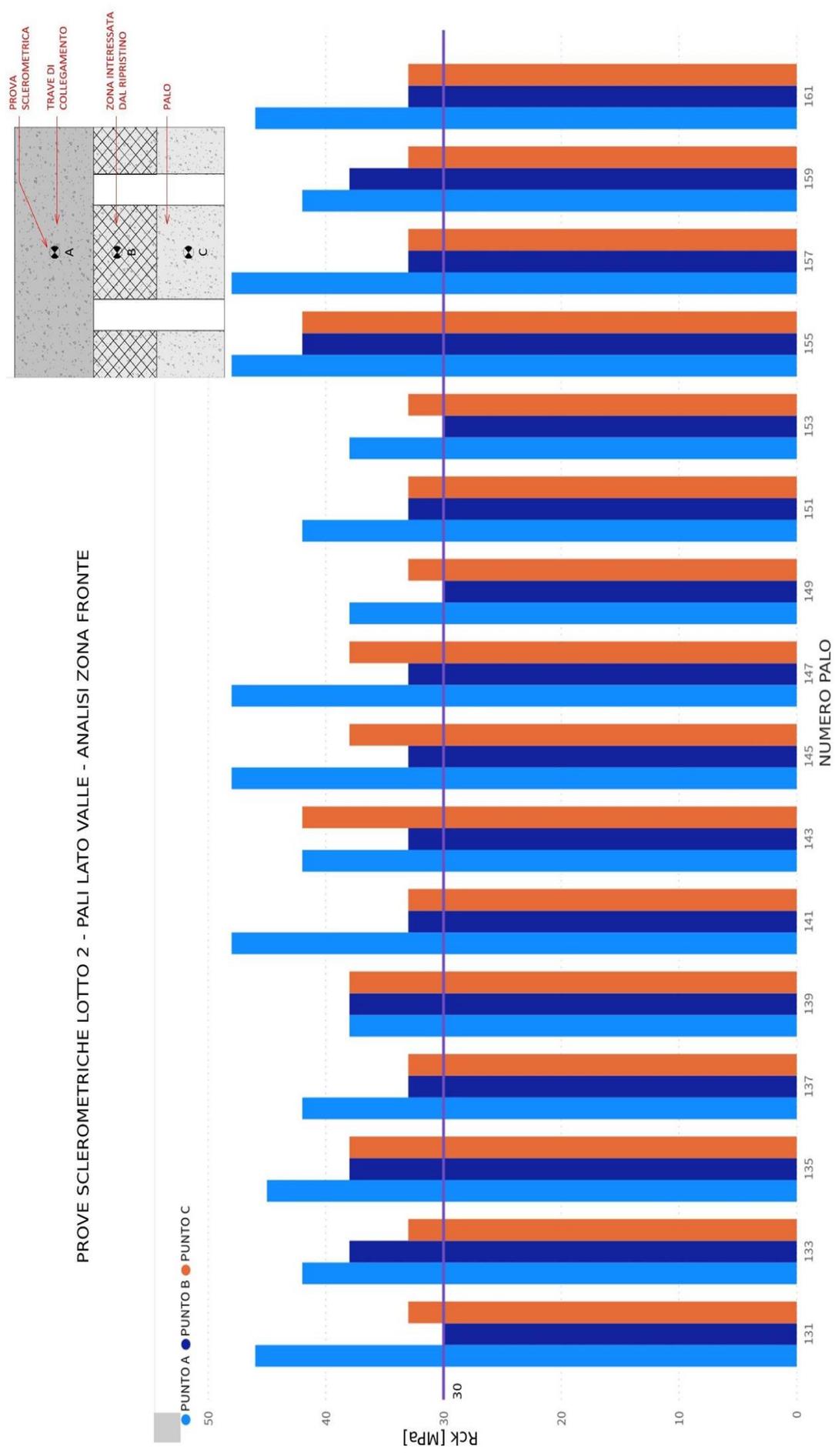


Figura 5.3.3.3. Prove sclerometriche lato valle- analisi zona fronte.  
 (i punti A, B e C nello schema in alto a destra rappresentano i punti di misura)

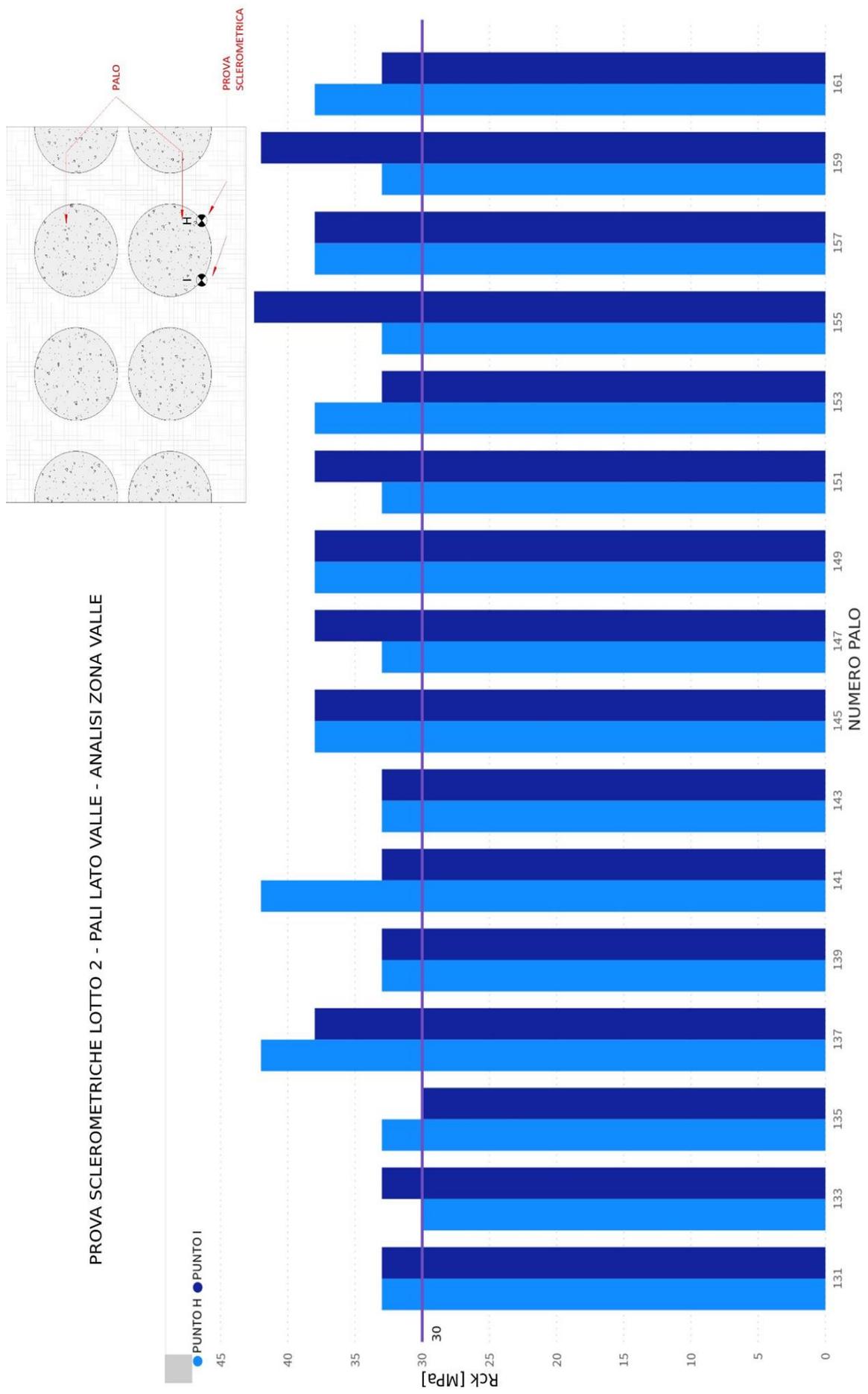


Figura 5.3.3.4: Prove sclerometriche lato valle- analisi zona valle.

(I punti I e H nello schema in alto a destra rappresentano i punti di misura)

Dai dati delle prove sclerometriche riguardanti i lotti 1, 3, 4 e 5 è stato possibile appurare che tutti i valori erano superiori alla resistenza meccanica richiesta e in Tabella 5.3.3.1 sono stati registrati i valori che superano il limite di 35 MPa, i valori uguali al limite e i valori inferiori.

<b>PROVA SCLEROMETRICA</b>				
<b>LOTTO</b>	<b>N° PROVE R &gt; 35 Mpa</b>	<b>N° PROVE R = 35 Mpa</b>	<b>N° PROVE 30 Mpa &gt; R &lt; 35 Mpa</b>	<b>Tot. PROVE</b>
1	165	35	24	224
2	96	17	102	215
3	145	11	28	184
4	104	4	114	222
5	73	28	26	127
<b>TOTALE</b>	<b>583</b>	<b>95</b>	<b>294</b>	<b>972</b>

Tabella 5.3.3.1. Risultati prove sclerometriche nei lotti 1, 2, 3, 4, 5

Da come si può leggere in tabella, sono state condotte un totale di 972 prove sclerometriche di cui 294 hanno valore minore di 35 MPa ma è comunque maggiore della resistenza richiesta in fase progettuale ovvero di 30 MPa.

Dai risultati di queste prove si è appurato che il materiale scelto a livello progettuale è ad alte prestazioni meccaniche, perciò non è la causa delle problematiche che si stanno analizzando in questa tesi.

## 5.4. Idrodemolizione e Pulizia

Una volta aver terminato l'attività di scavo ed effettuate le prove sclerometriche per verificare la resistenza meccanica del calcestruzzo, si è passati alla fase di scarificazione e pulizia dalle inclusioni terrose.

L'idroscarifica è un'operazione che permette di rimuovere in maniera selettiva il calcestruzzo danneggiato e le parti ammalorate di cemento, effettuata tramite l'idrodemolitrice (Figura 5.4.1).

Sono molteplici i vantaggi che si hanno da questo sistema. Esso permette un'azione senza



alcun danno ai ferri dell'armatura ed evita che si formino microfratture o microfessurazioni.

Riesce, al contrario, ad effettuare una loro pulizia totale. Questo trattamento permette di rimuovere e asportare le parti deteriorate del cemento, per arrivare fino al calcestruzzo sano e compatto.

Figura 5.4.1. Idrodemolitrice

Ciò è possibile perché l'acqua penetrando nelle porosità e nelle eventuali fessurazioni presenti, crea una forte pressione interna che risulterà superiore alla resistenza a trazione del calcestruzzo e ne provocherà l'esplosione, liberando l'armatura.

Il calcestruzzo inoltre, pur rimanendo comunque un materiale naturalmente poroso, aumenta in questo modo la porosità iniziale garantendo una superficie dove il nuovo getto possa



aderire completamente: l'idroscarifica infatti prepara superfici rugose e pulite, perfette per ricevere i nuovi getti.

La pressione raggiunta per questo tipo di lavorazione è di 2000 bar e inoltre per agevolare le lavorazioni è stato realizzato uno strato di magrone come si può vedere in Figura 5.4.2.

Figura 5.4.2. Strato di magrone

Prima dell'idroscarifica si sono effettuate attività preliminari di pulizia per mezzo di una idropulitrice a bassa pressione.

Una problematica che insorgeva ogni volta aver pulito dalle inclusioni terrose e quindi dopo aver effettuato l'attività di idroscarifica, era quella di un'ulteriore inclusione terrosa che si manifestava nel nodo palo-trave; il materiale terroso veniva trasportato dall'acqua, quest'ultima proveniva dagli ancoraggi e infiltrandosi arrivava fino alla testa del palo. La soluzione adottata per questa problematica è stato quello di togliere manualmente l'emulsione di acqua e terra all'interno della cavità e coprire con telo impermeabile, in modo tale che l'acqua non potesse ritornare all'interno della cavità e defluire in testa al palo, come si può vedere nelle Figure 5.4.3 e 5.4.4.



Figura 5.4.3. Cavità piene di acqua e terra



Figura 5.4.4. Telo impermeabile a copertura della trave di collegamento

## 5.5. Passivazione ferri armatura

La successiva fase è stata quella di passivare i ferri di armatura dei pali (Figura 5.5.1); la passivazione è un fenomeno di natura elettrochimica che può impedire la reazione di corrosione dei materiali metallici che altrimenti questi subirebbero. L'attività è consistita nel stendere la malta di tipo Maperfer 1K sui ferri d'armatura in maniera omogenea, di spessore minimo 2 mm.

La malta utilizzata è di tipo Mapefer 1K, è una malta monocomponente, a base di leganti cementizi, polimeri in polvere e inibitori di corrosione, da applicare sui ferri d'armatura per prevenire la formazione di ruggine. A seguito della miscelazione con acqua, si trasforma in una malta di facile lavorabilità ed applicabilità. Dopo l'indurimento è resistente alla nebbia salina secondo normativa EN 15183 e impermeabile all'acqua e ai gas aggressivi presenti nell'atmosfera.



Figura 5.5.1. Passivazione dei ferri d'armatura scoperti

Le Tabelle 5.5.1 e 5.5.2 riepilogano i dati identificativi, applicativi e le prestazioni finali del prodotto, dichiarati dal produttore.

<b>DATI IDENTIFICATIVI DEL PRODOTTO</b>	
<b>Consistenza</b>	polvere
<b>Dimensione max aggregato (mm)</b>	0,5
<b>Resisuo solido (EN480-8) (%)</b>	100
<b>DATI APPLICATIVI DEL PRODOTTO (a +20°C - 50% U.R.)</b>	
<b>Colore dell'impasto</b>	blu
<b>Rapporto dell'impasto</b>	100 parti di Mapefer 1K con 20 - 22 parti di acqua (1,0 - 1,1 l di acqua per ogni sacco da 5 kg)
<b>Consistenza dell'impasto</b>	pasta tissotropica
<b>Massa volumetrica dell'impasto (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1800
<b>pH dell'impasto</b>	> 12,5
<b>T° di applicazione</b>	da + 5°C a +35°C
<b>Durata dell'impasto</b>	circa 1h
<b>Tempo di attesa tra due mani successive</b>	circa 2h
<b>Tempo di attesa prima di applicare la malta di ripristino</b>	6 - 24h
<b>Spessore minimo (mm)</b>	2

Tabella 5.5.1. Dati identificativi e applicativi del prodotto

<b>PRESTAZIONI FINALI</b>			
<b>CARATTERISTICA PRESTAZIONALE</b>	<b>METODO DI PROVA</b>	<b>REQUISITI EN 1504-7</b>	<b>PRESTAZIONE PRODOTTO</b>
Adesione su cls (supporto di tipo MC 0,40 - rapporto a/c = 0,40) secondo EN1766 (Mpa)	EN 1542	Non richiesto	≥ 2,0
Resistenza allo sfilamento delle barre di acciaio: -carico relativo ad uno spostamento di 0,1 mm	EN 15184	Carico pari almeno all'80% del carico determinato su armatura non rivestita	Specificata superata
Resistenza alla corrosione: - 10 cicli di condensazione in acqua; - 10 cicli di anidride solforosa secondo EN ISO 6988; - 5 gg di nebbia salina secondo EN 60068-2-11;	EN 15183	Dopo la serie dei cicli le barre d'acciaio rivestite devono essere esenti da corrosione. La penetrazione della ruggine all'estremità della piastra d'acciaio priva di rivestimento deve essere < 1 mm	Specificata superata

Tabella 5.5.2 Prestazioni finali del prodotto





Figura 5.5.1. Armatura aggiuntiva della parete di calcestruzzo e relativa posa in opera della rete elettrosaldata

Ovviamente la fase di posa dell'armatura e relativo getto sono stati effettuati per tratti, questo perché non essendoci un'omogeneità sull'allineamento dei pali non si poteva pensare di fare una parete di spessore costante per tutta l'estensione della paratia di monte; avrebbe apportato maggiore materiale con conseguenza di spreco di quest'ultimo e maggior costi.

## 5.7. Casseratura e Getto di calcestruzzo

Una volta posizionati i casseri come si può vedere in Figura 5.7.1, lato monte e lato valle per tratti, si è passati al getto di calcestruzzo, sia della parte di intercapedine e sia della parete.

La qualità dei casseri o delle sigillature che impediscono ad esempio fuoriuscite di calcestruzzo, possono compromettere le caratteristiche reologiche e di omogeneità della miscela, per questo i casseri sono molto importanti.



Figura 5.7.1. Posizionamento casseri

Il calcestruzzo che è stato utilizzato è C28/35 classe XC3 con lavorabilità S5 auto compattante autolivellante. La classe XC3 rappresenta un calcestruzzo durabile esposto ad ambiente con medio rischio di corrosione dei ferri di armatura promossa da carbonatazione per opere (in c.a.), a contatto con l'aria esterna ma non esposte alla pioggia o a contatto con terreni/acqua leggermente aggressive e con umidità moderata.

In queste condizioni ambientali, che corrispondono alla classe di esposizione XC3 secondo le norme UNI EN 206-1 e UNI 11104, non esiste rischio di corrosione per le armature metalliche per un periodo di almeno 50 anni purché il rapporto acqua/cemento, (a/c), adottato non superi il valore di 0,55, con dosaggio minimo di cemento di 320 kg/mc.

La resistenza caratteristica  $R_{ck}$  che corrisponde a questo valore del rapporto (a/c) è di 35 N/mm<sup>2</sup> quando si impiegano cementi con classi di resistenza 32,5.

Inoltre è indicato per realizzare strutture verticali fortemente armate e dalla geometria complessa, questo perché i calcestruzzi auto compattanti durante la posa in opera, non necessitano di alcuna forma di compattazione o vibrazione in quanto dotati di una elevata fluidità e capacità di riempire e raggiungere con facilità anche i punti più difficili delle casseforme.

Il diametro massimo dell'aggregato per questa miscela è  $\leq 16$  mm, con l'inserimento di un additivo accelerante, ACCELFLUX, esente da cloruri, che permette di accelerare l'idratazione del cemento e di conseguenza l'indurimento del calcestruzzo con il vantaggio di ottenere sostanziali anticipi nelle scassature e nelle finiture superficiali. È inoltre particolarmente indicato, quale antigelo, nella confezione di calcestruzzi da gettare a bassa temperatura. In questo caso consente un indurimento regolare del cemento che risulterebbe compromesso dall'azione del gelo.

Il relativo getto è stato effettuato per mezzo di betoniere da 9 m<sup>3</sup> e con l'aiuto di una pompa autocarrata con braccio di distribuzione, ovvero una macchina con la finalità di pompaggio del calcestruzzo, come si può vedere in Figura 5.7.2, posta a valle della trave di collegamento. Una volta conclusa la fase di presa e indurimento del calcestruzzo si è passati allo scassero e in Figura 5.7.3 si può visionare la parete terminata.



Figura 5.7.2. Getto di calcestruzzo



Figura 5.7.3. Parete terminata di calcestruzzo

### 5.7.1. Prove in sito

Il prelievo e il controllo di accettazione del calcestruzzo sono attività obbligatorie previste dalla normativa tecnica vigente e servono a verificare la conformità del calcestruzzo messo in opera rispetto a quanto prescritto dal progetto esecutivo.

Per questo si sono confezionati i provini (Figura 5.7.1) con la miscela di calcestruzzo su cui verrà effettuata poi, la prova a compressione in laboratorio.



Inoltre la valutazione delle caratteristiche di autocompattabilità è il risultato del soddisfacimento di diverse proprietà reologiche del conglomerato e per la loro valutazione si richiede il ricorso contemporaneo a diversi metodi di prova: capacità di scorrimento in assenza di ostacoli, la mobilità in sezioni congestionate di armatura, la resistenza alla segregazione dell'impasto durante la posa e a riempimento avvenuto dei casseri.

Figura 5.7.1. Confezionamento dei provini in cantiere

### 5.7.2. Slump Test

Lo slump test o cosiddetto cono di Abrams è una prova che è stata effettuata in sito. Per tale prova viene utilizzato:

- cono di Abrams: tronco di cono metallico costituito da lamiera di acciaio inossidabile di spessore minimo di 1,5 mm. L'interno del cono si presenta con superficie liscia, esente da sporgenze, quali chiodature ed ammaccature. Lo stampo è dotato di due manici, posti a  $\frac{2}{3}$  dell'altezza nella porzione superiore, per la sformatura e, nella parte inferiore, di ganci di fissaggio o di staffe che servono a mantenerlo fermo con i piedi nel corso del riempimento; (Figura 5.7.1.1.1)
- piastra di base; (Figura 5.7.1.1.2)
- cronometro.



Figura 5.7.1.1.2. Piastra di base



Figura 5.7.1.1.1. Cono di Abrams

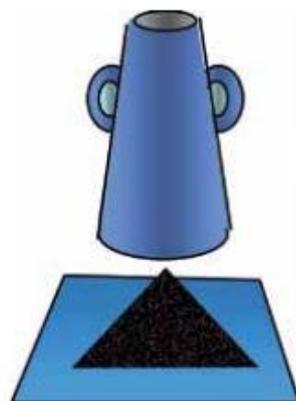
La prova viene eseguita in questa maniera:



**1)** Si pone il cono di Abrams su un piano



**2)** Si riempie il cono con il calcestruzzo fino a un terzo dell'altezza



**3)** estrae il cono verticalmente

Nel momento in cui si solleva il cono si aziona il cronometro.

Si determinano:

-  $t_{500}$  : tempo necessario perché la focaccia di calcestruzzo raggiunga un diametro pari a 500 mm

-  $d_f$  : diametro finale della focaccia a fine spandimento.

La misura dello slump-flow è proporzionale alla capacità di scorrimento del materiale in assenza di ostacoli: maggiore il valore di  $df$  e più elevata è la deformabilità del materiale, cioè la sua capacità di raggiungere zone distanti dal punto d'introduzione del calcestruzzo nel cassero.

In base al valore di  $df$  le Linee Guida Europee e la Norma UNI EN 206-9, con la metodologia di prova della Norma UNI EN 12350-8, suddividono i calcestruzzi auto compattanti, relativamente alla misura dello slump-flow, in tre classi. (Tabella 5.7.1.1.1)

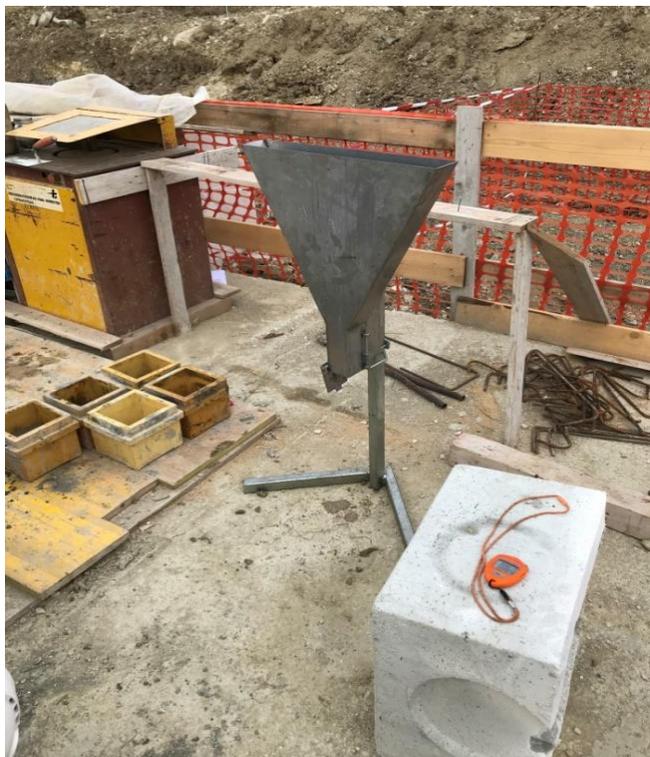
<b>CLASSI DI SPANDIMENTO SF</b>			
	<b>SF1</b>	<b>SF2</b>	<b>SF3</b>
<b>Misura del <math>df</math> di spandimento (mm)</b>	550 - 650	660 - 750	760 - 850

Tabella 5.7.1.1.1. Classi di spandimento – UNI EN 206-9 ed UNI EN 12350-8

Nel nostro caso, il valore misurato è di 755mm, un risultato che ricade nel limite della classe SF2 e SF3 ma è stato classificato di classe SF3.

### 5.7.3. V-Funnel Test

Il metodo del V-Funnel Test determina il tempo di efflusso del calcestruzzo autocompattante fresco attraverso forme ristrette senza bloccarsi e valuta la sua resistenza alla segregazione.



Lo strumento utilizzato è un imbuto metallico, come si può vedere in Figura 5.7.1.2.1 in cui viene introdotto il calcestruzzo al suo interno; una volta riempito si apre la saracinesca e si misura il tempo  $t_0$  necessario per il calcestruzzo a fuoriuscire completamente dallo strumento. La misurazione avviene tramite cronometro. Maggiore sarà il tempo di vuotamento e maggiore sarà la viscosità, inoltre più è elevato  $t_0$ , ho più resistenza al fenomeno della segregazione.

Figura 5.7.1.2.1. Strumentazione V-Funnel Test

La normativa UNI EN 206-9 suddivide, per la prova UNI EN 12350-9, i calcestruzzi auto compattanti in due classi in cui fanno riferimento al  $t_0$ . (Tabella 5.7.1.2.1)

CLASSI VISCOSITA'		
	VF1	VF2
Tempo di efflusso dall'imbuto a V (s)	< 9,0	da 9,0 a 25,0

Tabella 5.7.1.2.1. Classi viscosità – UNI EN 206-9 ed UNI EN 12350-9

Il risultato della prova effettuata in cantiere ha classificato il calcestruzzo VF1.

## 5.8. Ripristino dei tiranti

La penultima fase è stata quella del ripristino dei tiranti. Le attività di scavo connesse alle operazioni di ripristino della “paratia di monte”, come è stato già detto hanno interessato una porzione di terreno nella quale sono presenti i tiranti di ancoraggio. Visionando suddetti tiranti, è stato rilevato un danneggiamento nella parte superficiale e/o nella protezione anticorrosiva.

In funzione della gravità del danneggiamento si sono applicate due modalità di ripristino, qui sotto elencate:

### *1- Ripristino del tirante con solo corrugato*

Questa metodologia è stata applicata per quella serie di tiranti di cui il danneggiamento era lieve, ovvero una parte di guaina superficiale lesionata senza però arrivare al ferro in profondità, come si può vedere nella Figura 5.8.1.

La procedura è stata quella di incamiciare la parte lesionata con il corrugato, ovvero un tubo in polipropilene, materiale flessibile, ma che allo stesso tempo garantisce una elevata resistenza meccanica, alta flessibilità e soprattutto praticità nell’assemblaggio. La lunghezza del rivestimento è di 15 cm per lato rispetto alla porzione di guaina lesionata. Figura 5.8.2.



Figura 5.8.1. Tirante leggermente lesionato



Figura 5.8.2. Tirante ripristinato

## 2- Ripristino completo del tirante

Questa metodologia è stata applicata per quella serie di tiranti di cui il danneggiamento era più grave, ovvero una parte di guaina superficiale lesionata e con l'esposizione del ferro. La procedura è di seguito riportata:

1. Idrolavaggio della parte interessata e asportazione della parte lesionata.



2. Trattamento della parte metallica del tirante con prodotti passivanti a protezione del metallo.

3. Protezione della parte ripristinata con corrugato.



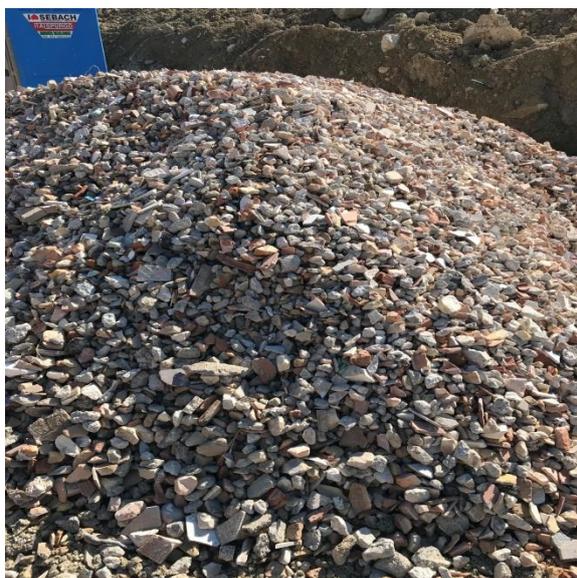


4. Colatura della boiaccia cementizia ovvero una malta cementizia tissotropica monocomponente, a bassissima emissione di sostanze organiche volatili (EMICODE EC1 R Plus), costituita da leganti idraulici speciali, aggregati selezionati di granulometria fine, fibre sintetiche in poliacrilonitrile, polimeri sintetici e speciali additivi. Successiva sigillatura con poliuretano espanso delle aperture superiori del corrugato.

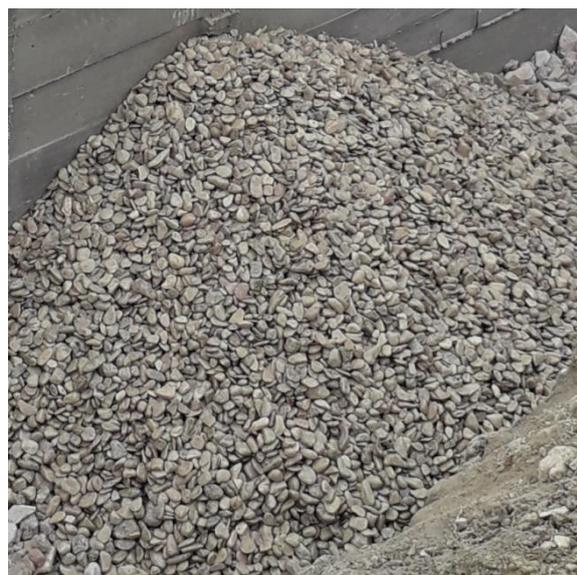
## 5.9. Rinterri

Una volta terminata l'operazione di ripristino dei tiranti si è effettuata l'ultima fase ovvero quella di rinterro della sezione precedentemente scavata, con apposito materiale vagliato. Tale materiale svolge una doppia funzione sia di drenaggio e salvaguardia della funzionalità dei drenaggi, per via della facilità nella compattazione. Il riempimento verrà effettuato con due tipologie di materiali:

→ *misto riciclato lavato*



→ *misto naturale di cava*



Il misto naturale di cava è costituito da ghiaie grosse alluvionali, di natura mineralogica prevalentemente calcarea, proviene da cave autorizzate, senza subire selezioni. Mentre il misto granulare riciclato rappresenta il prodotto finale di un processo di frantumazione lavaggio e vagliatura di materiali provenienti dalle demolizioni strutturali di edifici, in questo caso edifici colpiti dal terremoto. Oggi, grazie alla tecnologia, i materiali opportunamente riciclati equivalgono a quelli di origine primaria. Per di più presentano un ulteriore vantaggio dal punto di vista ambientale:

- Notevole riduzione delle materie prime prelevate dalla natura con risparmio di energia e acqua;
- Si minimizza il quantitativo dei rifiuti indifferenziati da smaltire in discarica a tutto vantaggio per la salute e per l'ambiente;
- Si incrementa un settore produttivo alternativo creando ricchezza e nuovi posti di lavoro;
- Si promuove la ricerca, la competitività e l'eco-innovazione.

Tutto ciò senza svantaggi finanziari, qualitativi o estetici.

L'introduzione di suddetti materiali all'interno dello scavo è stata effettuata tramite mezzo meccanico, l'escavatore e la sequenza (partendo dal fondo scavo) è di seguito riportata:

*1° Strato:* misto riciclato lavato per un'altezza di 50 cm

*2° Strato:* misto naturale di cava per un'altezza di 1,00 m inserito a piramide tramite il mezzo meccanico (Figura 5.9.1)

*3° Strato:* introduzione di geotessuto (Figura 5.9.2)

*4° Strato:* misto riciclato lavato per l'altezza restante di scavo

L'opera è stata terminata con l'introduzione di terreno naturale e relativa sagomatura (Figura 5.9.3)

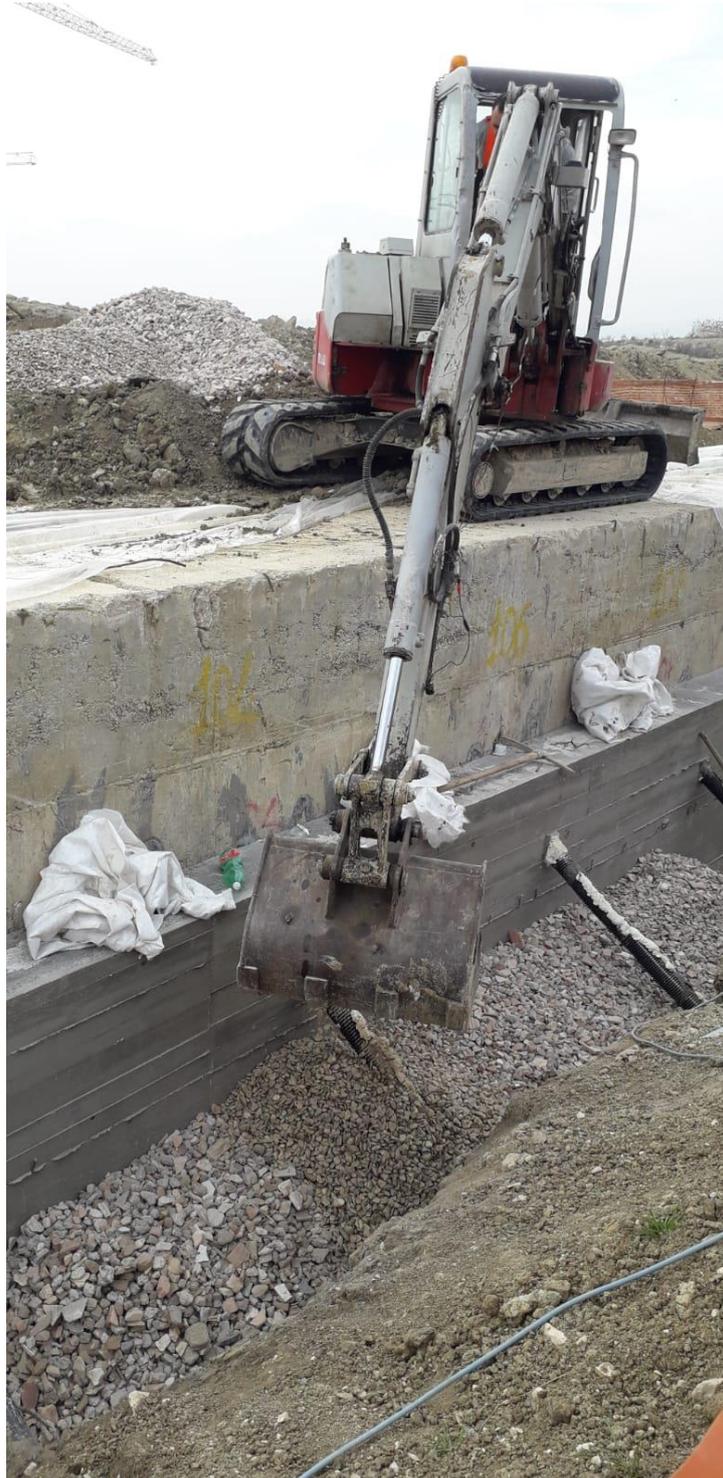


Figura 5.9.1. Alla base misto riciclato lavato e successivo inserimento a piramide del misto naturale di cava



Figura 5.9.2. Inserimento geotessuto



Figura 5.9.3. Opere di ripristino terminate

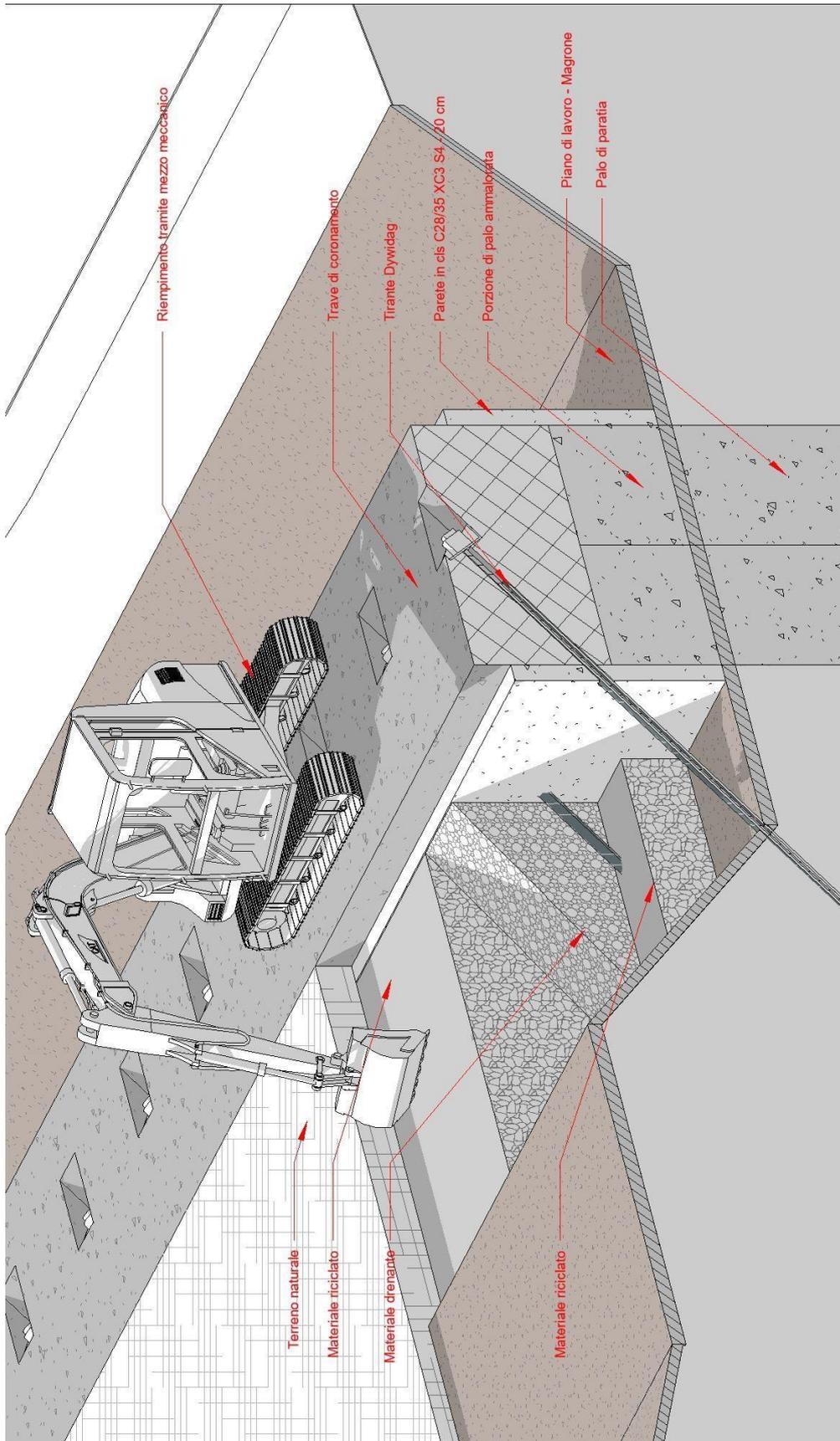


Figura 5.9.5. Visione 3D della fase di rinterro

## 6. CONCLUSIONI

L'oggetto del presente lavoro di tesi è una paratia di pali realizzata come presidio per la stabilità del versante Nord, nel cantiere per la realizzazione del nuovo complesso ospedaliero di Ancona Sud nel comune di Camerano, ancora oggi in fase di costruzione.

Lo scopo di questo elaborato è stato quello di studiare le problematiche riscontrate sulla paratia e descriverne le soluzioni operative adottate per il ripristino della stessa.

La causa dei difetti riscontrati sulla paratia va ricercata, principalmente, nelle fasi di esecuzione dei pali; per via delle grandi dimensioni si è riscontrato un problema di allineamento, molti pali risultavano disallineanti e sporgenti rispetto alla trave di collegamento anche di diversi centimetri. Piuttosto che ampliare le dimensioni della trave di collegamento per poter raccordare correttamente tutte le teste dei pali, l'impresa ha scelto, di piegare i ferri di ripresa per riportarli all'interno del bordo previsto della trave di collegamento. Questo ha provocato le lesioni del calcestruzzo nella parte alta dei pali, con le conseguenti inclusioni terrose tra palo-trave di collegamento e all'interno del fusto dei pali stessi.

Il quadro fessurativo e le inclusioni terrose hanno portato a interrompere la continuità strutturale tra palo e cordolo in diversi punti e perciò è stato doveroso redigere un progetto di ripristino.

Come si è visto in questo elaborato il progetto si esplica in diverse fasi che hanno la finalità di riportare alle condizioni iniziali l'opera, ovvero connessione tra pali e trave di collegamento, senza dover quindi declassare l'opera.

Un aspetto importante del progetto di ripristino e delle fasi esecutive, è stata la presenza dei tiranti; quest'ultimi hanno un ruolo fondamentale nel comportamento della paratia, perché rappresentano un ulteriore margine di sicurezza nei confronti dell'instabilità del versante. In mancanza di un'adeguata continuità tra pali e trave di collegamento, i tiranti non compirebbero il loro ruolo.

I sopralluoghi in cantiere hanno reso possibile l'individuazione delle cause dell'intrusione di terreno, la gravità dell'ammaloramento e il successivo controllo delle fasi di ripristino. Nel momento di attuazione delle lavorazioni sono state riscontrate delle difficoltà, nell'applicazione delle stesse, che hanno avuto bisogno di una taratura in corso d'opera per

individuare le modalità operative più efficaci e sicure: un primo esempio riguarda l'operazione di idrodemolizione e idroscarifica delle sezioni di palo, in cui sono state, sui primi pali, le corrette pressioni da usare per una pulizia efficace. Sempre connesso con la fase di idrodemolizione dei pali, si è discusso sulla possibilità di realizzare o no lo strato di magrone in modo tale da rendere lo scavo più fruibile. Inoltre, una problematica riscontrata nella fase di pulizia dei pali è stata quella di ritrovare acqua sporca di terra tra il collegamento palo-trave, una volta terminato l'idrodemolizione e aver asciugato la testa del palo. Da vari accertamenti si è constatato che questa proveniva dagli alloggi delle teste dei tiranti sulla trave di collegamento, che quindi, sono stati ripuliti e asciugati adeguatamente e coperti con un telo impermeabile.

Altra problematica affrontata in corso d'opera, era legata alla dimensione della parete di calcestruzzo che collega la trave di collegamento e pali coprendo la parte del fusto di palo interessata dall'intervento di ripristino; a livello progettuale era previsto uno spessore di tale parete di 20 cm; tuttavia, il disallineamento dei pali e la presenza dei nuovi ferri di armatura, ha reso necessario in corso d'opera, aumentare lo spessore della parete di 5 cm per uno spessore finale di 25 cm.

L'esperienza di questo lavoro di tesi e il tempo passato in cantiere, fa capire quanto sia importante la presenza e il controllo costante in cantiere, da parte di tutte le figure professionali preposte, durante tutte le fasi esecutive di un'opera, sia per risolvere velocemente le problematiche che possono sopraggiungere, e che ovviamente non possono essere previste in fase progettuale, sia per verificare che il progetto di un'opera venga eseguito a regola d'arte seguendo tutte le indicazioni e le prescrizioni formulate.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- Architetto Francesco Marzullo - Nuovo Complesso Ancona Sud Progetto Esecutivo - Relazione sulla modalità operativa per l'esecuzione del ripristino - (2019)
- F&M Ingegneria - Giornale dei Lavori - Lavori di ripristino della paratia di monte - (2020)
- Università di Roma "La Sapienza" Facoltà di Ingegneria, G. Calabresi - Appunti di geotecnica e opere di sostegno.
- Tiranti a barre DYWIDAG – DYWID,   
<https://www.dywit.it/prodotti/geotecnica/tiranti-a-barre-dywidag/>
- Sclerometro Ectha 1000 : Sclerometri (termocam.it)   
<https://www.termocam.it/altri-strumenti/sclerometri/sclerometro-ectha-1000-detail>
- MAPEFER 1K, scheda tecnica | Mapei   
<https://www.mapei.com/it/it/prodotti-e-soluzioni/prodotti/dettaglio/mapefer-1k>
- Heidelberg Cement Group – Calcestruzzi – Scheda tecnica per calcestruzzo SCC
- Università Politecnica delle Marche – Francesca Tittarelli – Appunti del corso “Scienza e tecnologia dei Materiali”