



Regione Autonoma della Sardegna
Assessorato dei Lavori Pubblici
Servizio Tutela e Difesa del Suolo



Consorzio Bonifica
Sardegna Centrale

*Interventi per la mitigazione del rischio idraulico nel
bacino del rio Posada a valle della diga di Maccheronis*

1° Stralcio



Disciplinare tecnico per indagini e prove geognostiche finali

L'Ufficio Tecnico consortile
dott. ing. Sebastiano Bussalai



gennaio 2016

1. INDAGINI PREVISTE

1.1 Descrizione del piano d'indagine

Il presente disciplinare concerne l'esecuzione di indagini e prove geognostiche da eseguirsi sul rilevato arginale realizzato nell'ambito dei lavori denominati "*Interventi per la mitigazione del rischio idraulico nel bacino del rio Posada a valle della diga di Maccheronis. 1° Stralcio*".

Obiettivo del piano di indagine è quello di verificare e caratterizzare, dal punto di vista geologico e geotecnico, il rilevato arginale così come realizzato nel corso dei lavori e consiste, in sintesi, nella esecuzione di:

- a) sondaggi carotati con esecuzione di prove Lefranc e test SPT nonché prelievo di campioni finalizzati alla realizzazione di prove di laboratorio;
- b) profili sismici a rifrazione in onde P,
- c) prove di laboratorio sui campioni prelevati.

Le analisi dovranno essere eseguite presso un laboratorio di prove geotecniche su terreni autorizzato dal Ministero Infrastrutture e Trasporti (comma 2, art. 59 del DPR n. 380/2001 – Settore A).

La Direzione dei lavori si riserva l'insindacabile facoltà di valutare ed approvare eventuali proposte integrative e/o migliorative al piano di indagini più oltre specificato proposte, in corso d'opera, dalla Ditta affidataria del servizio.

1.2 Definizione e modalità di esecuzione delle indagini

1.2.1 Sondaggi e prove in situ

Viene prevista l'esecuzione, lungo il rilevato arginale, di 9 (nove) sondaggi carotati per una lunghezza di circa 20 m ciascuno. I sondaggi, da ubicare nei punti indicati nei grafici allegati, dovranno essere eseguiti secondo le specifiche richiamate al capitolo 2 del presente disciplinare. Al termine dell'esecuzione il foro di sondaggio deve essere riempito con una miscela cemento – bentonite – acqua, immessa nel foro dal fondo, con modalità opportune.

Durante le operazioni di perforazione devono essere prelevati campioni, agli intervalli utili a discriminare i passaggi stratigrafici significativi, da destinare alle analisi di laboratorio (campioni indisturbati su terreni coesivi, campioni

semidisturbatisu terrenicoerenti,campionirimaneggiatine terrenigranularinon campionabili allo stato indisturbato).

Durante l'esecuzione dei sondaggi verranno altresì realizzate, sia nel corpo arginale che sui terreni di fondazione, le seguenti prove:

- prove di permeabilità di tipo Lefranc (4 per sondaggio);
- prove SPT, ad intervalli di 1,5 metri;

Sulla superficie dell'argine, in corrispondenza di ciascuna sezione di prova, verranno effettuate:

- misura della densità in situ;
- prove di carico su piastra per la determinazione del modulo di deformazione M_d .

Tabella 1: Tabella riassuntiva dei sondaggi e delle prove in situ

Sondaggi a carotaggio continuo							
Sigla	Profondità (m)	Prove SPT	Prove Lefranc	Misura densità in situ	Prove su piastra	Prelievo camp. indisturbato	Prelievo camp. rimaneggiato
S_23	20	12	4	1	1	2	2
S_35	20	12	4	1	1	2	2
S_59	20	12	4	1	1	2	2
S_69	20	12	4	1	1	2	2
S_86	20	12	4	1	1	2	2
S_106	20	12	4	1	1	2	2
S_134	20	12	4	1	1	2	2
S_155	20	12	4	1	1	2	2
S_162	20	12	4	1	1	2	2

1.2.2 Stendimenti sismici

Lungo il rilevato arginale dovranno essere eseguiti 9 profili sismici a rifrazione in onde P, ciascuno di lunghezza pari a 108 m;

1.2.3 Prove di Laboratorio

I campioni, prelevati e conservati in ambiente idoneo, devono essere sottoposti alle prove di laboratorio necessarie a determinare i seguenti parametri:

- peso specifico della parte solida;

- classe granulometrica di appartenenza
- limiti di Atterberg (ove il contenuto in limi e argille superi il 30%);
- prova di taglio diretto su campione indisturbato (prelievo con campionatore Shelby): 4 per sondaggio di cui 2 su campioni provenienti dall'argine e 2 dal terreno di fondazione;
- prove triassiali non drenate con misura della pressione neutra su campione indisturbato (prelievo con campionatore Shelby) 4 per sondaggio di cui 2 su campioni provenienti dall'argine e 2 dal terreno di fondazione;
- prova di taglio diretto su campione indisturbato (prelievo con campionatore Shelby): 4 per sondaggio di cui 2 su campioni provenienti dall'argine e 2 dal terreno di fondazione;
- prove triassiali non drenati con misura della pressione neutra su campione indisturbato (prelievo con campionatore Shelby) 4 per sondaggio di cui 2 su campioni provenienti dall'argine e 2 dal terreno di fondazione;
- analisi granulometriche e classificazione delle terre (CNR 100006): 4 per sondaggio di cui 2 su campioni provenienti dall'argine e 2 dal terreno di fondazione;

Il numero dei campioni, che saranno di tipo indisturbato (campionature tipo shelby), e le relative quote di prelievo saranno individuati dal collaudatore in corso di esecuzione.

Tutte le analisi dovranno essere eseguite da un laboratorio di prove geotecniche autorizzato nei modi di legge, dal Ministero Infrastrutture e Trasporti (comma 2, art. 59 del DPR n. 380/2001 – Settore A).

1.3 Restituzione dei dati

Devono essere forniti su supporto cartaceo n.3 copie dei seguenti elaborati, sottoscritti in calce dal tecnico abilitato:

- relazione di sintesi sulle metodologie di indagine, sulle caratteristiche della strumentazione usata e sulle prove geotecniche condotte;
- cartografia con ubicazione dei punti di sondaggio, di esecuzione delle prove penetrometriche e degli stendimenti delle indagini geofisiche;
- restituzione dei risultati dei sondaggi, costituiti da:
 - caratteristiche dei terreni (secondo la nomenclatura e la simbologia prevista nelle Raccomandazioni A.G.I. – 1977);

- osservazioni relative alla falda (presenza di falda, altezza della falda all'inizio e al termine della perforazione);
- osservazioni relative al fluido di circolazione (quote alle quali sono riscontrate perdite del fluido di circolazione);
- profondità di prelevamento dei campioni indisturbati;
- osservazioni utili all'interpretazione delle caratteristiche dei terreni attraversati;
- risultati delle prove di laboratorio;

Tutti gli elaborati sopra richiesti devono essere forniti anche su supporto magnetico in formato doc, xls e dwg.

1.4 Presa visione dei luoghi

Il concorrente dovrà prendere visione dei luoghi oggetto d'indagine, rilasciandone opportuna attestazione all'atto della partecipazione alla gara, come indicato nel relativo bando.

1.5 Tempo utile

I lavori dovranno concludersi entro 60 giorni naturali e consecutivi decorrenti dalla data di consegna dei lavori, secondo la seguente tempistica:

- entro 30 giorni: esecuzione delle prove in campo;
- entro i successivi 30 giorni: esecuzione delle prove di laboratorio, redazione e consegna dell'intera documentazione richiesta al paragrafo precedente.

Eventuali proroghe potranno essere concesse, qualora ne ricorrano i requisiti, dalla Direzione dei lavori, per garantire l'esecuzione a regola d'arte delle indagini previste.

1.6 Penale

Per ogni giorno di ritardo verrà applicata una penale dell'1% dell'importo di contratto con avvio del procedimento di risoluzione in danno della ditta incaricata qualora il ritardo superi i 10 giorni complessivi.

2. SPECIFICHE TECNICHE

2.1 Specifiche tecniche indagini in situ

2.1.1 Sondaggi

I sondaggi dovranno essere carotati integralmente ed avere percentuale di recupero non inferiore al 90%; dovranno inoltre essere eseguiti in modo che i campioni prelevati siano di tipo indisturbato e che la stratigrafia possa essere associata alle caratteristiche geotecniche.

Essi dovranno essere eseguiti con una sonda con testa di rotazione idraulica che scorre lungo la slitta e che consenta la perforazione in presenza del rivestimento provvisorio che segue fino alla profondità prevista.

Il rivestimento provvisorio del foro dovrà avvenire con tubi in acciaio che consentano l'utilizzo di carotieri di diametro non inferiore a 100 mm.

La lunghezza della batteria di aste inserita nel foro verrà misurata nel corso della perforazione e riportata in apposita scheda a cura del responsabile tecnico.

Le perforazioni verranno eseguite prestando particolare attenzione ai rischi derivanti dall'esposizione a sostanze aggressive quali i fanghi rossi ed i fluidi in essi contenuti. Le operazioni dovranno essere eseguite senza interruzioni di durata rilevante al fine di evitare il blocco dei tubi di rivestimento ad opera del fango.

2.1.1.1 Fluido di circolazione

Durante la perforazione e l'inserimento della colonna di rivestimento potrà essere utilizzato quale fluido di circolazione unicamente acqua.

2.1.1.2 Utensili di perforazione e di pulizia del foro

Carotiere doppio di tipo T6S con portacampione interno apribile longitudinalmente con estrattore a calice che consente l'osservazione e la fotografia della carota prima della sua rimozione e disposizione nella cassetta catalogatrice. Le sue caratteristiche saranno:

- Diametro nominale est = 101 mm
- Lunghezza utile L= 150 cm
- Aste di perforazione con filettatura tronco-conica, diametro esterno est = 60 76 mm.

Gli utensili di perforazione saranno comunque tali da consentire l'estrazione di tutto il materiale interessato dal sondaggio senza che avvengano fratturazioni e dilavamento.

Gli utensili per la pulizia del foro saranno costituiti da :

- carotiere semplice, $l = 40\div 80$ cm;
- attrezzo a fori radiali, da impiegarsi con circolazione di fluido uscente dall'utensile con inclinazione di $45^\circ\div 90^\circ$ rispetto alla verticale;
- campionatore a pareti grosse 100 mm, con cestello di ritenuta alla base, per l'asportazione di eventuali ciottoli.

Durante la perforazione, per evitare franamenti delle pareti del foro, verrà impiegata una tubazione di rivestimento provvisorio in acciaio, avente le seguenti caratteristiche:

- spessore tubo $s = 8\div 10$ mm
- diametro interno $= 107\div 162$ mm
- lunghezza spezzoni $l = 150\div 200$ cm

L'impresa potrà proporre l'impiego di rivestimenti con diverse caratteristiche, in relazione al tipo di attrezzatura di perforazione prescelta, subordinandone l'uso all'approvazione della direzione dei lavori.

L'infissione dei rivestimenti avviene di norma a rotazione.

2.1.1.3 Strumenti di misura e controllo

Dovranno far parte del corredo della stazione di perforazione lo scandaglio a filo graduato per la misura dell'effettiva profondità del foro, il penetrometro tascabile e lo scissometro aventi fondo scala adatto ai valori di cui si intende eseguire la misura.

2.1.1.4 Cassette catalogatrici e carote

Le carote estratte nel corso della perforazione verranno sistemate in apposite cassette catalogatrici (in legno o plastica), munite di scomparti divisorii e coperchio apribile a cerniera; tali cassette, di resistenza tale da essere trasportate ed impilate, avranno dimensioni di circa 1.0 x 0.6 x 0.15 m. Appositi setti separatori suddivideranno i recuperi delle singole manovre, con l'indicazione delle quote rispetto al p.c..

Negli scomparti saranno inseriti blocchetti di legno o targhette adesive, a testimoniare gli spezzoni di carota prelevati ed asportati per il laboratorio, con le quote di inizio e di fine di tali prelievi.

Sul fondo di ogni scomparto, su richiesta della direzione dei lavori, deve essere posto un foglio di plastica trasparente (tipo polietilene) di dimensioni tali da poter essere anche risvoltato a coprire e proteggere le carote, una volta sistemate nella cassetta catalogatrice.

Sui bordi di ciascuna cassetta verranno riportate le quote delle carote rispetto al piano campagna e sui coperchi verranno applicate etichette adesive contenenti i seguenti dati:

- committente;
- lavoro;
- sondaggio;
- numero della cassetta;
- quote (da m. a m.);
- data esecuzione.

Le cassette catalogatrici contenenti le carote saranno successivamente trasportate e conservate in un'apposita area indicata dal collaudatore.

L'accumulo temporaneo, la movimentazione e lo smaltimento dei terreni derivanti dalle perforazioni avverrà a cura dell'appaltatore, in osservanza delle norme in materia di smaltimento delle terre e rocce da scavo (art. 186 del Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 così come modificato dal Decreto Legislativo 16 gennaio 2008, n.4; DLgs 4/2008).

Le singole cassette verranno fotografate tramite fotocamera digitale entro 24 ore dal loro completamento. Si richiede la completa leggibilità di tutte le indicazioni esistenti sulla cassetta ed una visione chiara delle carote contenute.

Tale documentazione fotografica verrà allegata in stratigrafia o in relazione tecnica assieme ai file in formato digitale, forniti su apposito supporto.

Oltre alle fotografie delle cassette verranno allegate al rapporto le fotografie della carota nella sua posizione all'interno del carotiere T6S una volta che questo sia stato aperto.

2.1.2 Documentazione delle indagini geognostiche

Il Geologo incaricato dall'Appaltatore dovrà redigere una relazione che illustri le procedure seguite, le modalità di esecuzione delle perforazioni, dei rivestimenti provvisori e definitivi della parete nonché la strumentazione adottata per i controlli in fase di perforazione. Tale relazione dovrà essere timbrata e firmata.

La documentazione preliminare del lavoro svolto verrà progressivamente aggiornata nel corso dei lavori e sarà a disposizione della direzione dei lavori e dei consulenti della stessa, quando richiesta.

La documentazione in forma definitiva sarà presentata non oltre 20 giorni solari dal completamento dei lavori e dovrà comprendere anche una planimetria riportante l'esatta ubicazione dei punti delle prove eseguite.

La documentazione preliminare e definitiva sarà presentata in formato elettronico editabile, oltre che in formato cartaceo timbrato e firmato.

Il Geologo incaricato dall'Appaltatore realizzerà un profilo stratigrafico del sondaggio, inteso come rappresentazione della successione dei terreni attraversati dai mezzi di indagine; tale profilo sarà composto dai seguenti elementi.

I dati generali e tecnici dovranno riportare:

- Denominazione del Cantiere;
- Committente;
- Impresa esecutrice;
- Numero del sondaggio;
- Quota;
- Inclinazione del sondaggio rispetto la verticale;
- date di perforazione (inizio e fine);
- metodi di perforazione utilizzati nei diversi spessori.
- attrezzatura impiegata.
- utensili di perforazione (carotieri).
- diametro di progetto del foro.
- diametro di perforazione.
- diametro e lunghezza del rivestimento.
- fluido di circolazione.
- Parametri di perforazione: Tempi di manovra, di velocità e di spinta di avanzamento;
- Profondità di prelievo dei campioni indisturbati e rimaneggiati;
- Presenza o meno di occlusioni durante la perforazione;
- Presenza di acqua e posizionamento delle interfacce.

Su richiesta della direzione dei lavori, per tutta la perforazione e/o parte di essa, dovranno essere registrati, in funzione della profondità di perforazione, tramite idonei sensori di misura collegati ai circuiti di trasmissione oleopneumatica, i seguenti parametri:

- velocità di rotazione dell'utensile (V_r);
- velocità istantanea di avanzamento (V_a);
- pressione relativa alla spinta che agisce sull'utensile di perforazione (PCS);
- pressione di iniezione del fluido di circolazione (PIF);
- pressione relativa alla coppia di rotazione trasmessa.

Ove possibile dovrà essere determinato, in continuo, anche il volume del fluido iniettato dalla pompa solidale all'attrezzatura di perforazione o opportunamente attrezzata.

La descrizione stratigrafica deve riportare:

- tipo di terreno o di roccia;
- condizioni di umidità naturale;
- consistenza;
- colore o colore prevalente;
- struttura;
- litologia ed origine;
- percentuale di recupero;
- rilievo del livello dell'acqua nel foro;
- eventuali franamenti, perdite di circolazione, cavità;
- quote di prelievo dei campioni;
- quote di eventuali prove geotecniche in foro.

La posizione e la quota planimetrica di ciascun punto di indagine saranno definite rispetto al rilievo piano-altimetrico progettuale.

La quota assoluta del piano campagna sarà trascritta sulla scheda stratigrafica per ciascuna indagine. In alternativa l'impresa provvederà a definire quota e posizione planimetrica di ciascun punto di indagine con riferimento a capisaldi indicati e concordati con la direzione dei lavori.

2.1.3 *Prelievo di Campioni indisturbati*

I campioni indisturbati verranno prelevati mediante campionatore a parete sottile con rapporto fra le aree circa del ($c_p < 10\%$) a doppio pistone stazionario (tipo Osterberg) di diametro 100 mm e lunghezza compresa fra 650 e 900 mm. La lunghezza utile del campione (risultante dopo la pulitura delle estremità) dovrà essere superiore a 300 mm. Il campione verrà ripulito con

l'apposito attrezzo a croce o ad elica e quindi paraffinato e sigillato e contrassegnato mediante apposito cartellino riportante l'indicazione del cantiere, del sondaggio, della profondità di prelievo e della data.

2.1.4 Prove di permeabilità Lefranc

Le prove sono finalizzate a misurare la conducibilità idraulica del terreno; a seconda della geometria realizzata in corrispondenza del tratto di foro prescelto e quindi della direzione del flusso che si instaura durante la prova, la permeabilità misurata sarà quella orizzontale (K_h), quella verticale (K_v) o una media tra le due ($K_h \cdot K_v$). Le prove dovranno essere eseguite in fase di avanzamento della perforazione in terreni non rocciosi, sotto falda o fuori falda, in quest'ultimo caso dopo avere saturato con acqua il terreno.

Nel caso di terreni a conducibilità non elevata ($k < 10^{-5}$ m/s), le prove dovranno essere eseguite a carico idraulico variabile; a carico idraulico costante nel caso di una elevata conducibilità ($K > 10^{-5}$ m/s)..

Per l'esecuzione della prova è necessario che le pareti del foro siano rivestite con tubo di rivestimento per tutto il tratto non interessato alla prova.

2.1.4.1 Modalità esecutive

La preparazione del tratto di foro sarà effettuata secondo il tipo di schema prescelto:

- prova su fondo filtrante piano:
 - perforazione con carotiere fino alla quota di prova;
 - infissione a secco del rivestimento negli ultimi 20-30 cm, per bloccare l'eventuale flusso dell'acqua;
 - esecuzione della pulizia del foro;
- prova con filtro cilindrico:
 - perforazione con carotiere fino alla quota di prova;
 - rivestimento del foro fino alla quota raggiunta dalla perforazione, senza uso di fluido di circolazione almeno negli ultimi 100 cm di infissione;
 - inserimento, nella colonna di rivestimento, di ghiaia molto lavata, fino a creare uno spessore di 60 cm dal fondo del foro (solo nel caso di terreni che tendono a franare o a rifluire);

- sollevamento della batteria di rivestimento di 50 cm, con solo tiro della sonda o comunque senza fluido di circolazione;
- misura ripetuta più volte del livello d'acqua nel foro;

2.1.4.2 Metodo a carico idraulico variabile

Il metodo a carico idraulico variabile sarà eseguito mediante:

- riempimento con acqua fino alla estremità del rivestimento.
- misura del livello dell'acqua all'interno del tubo (senza ulteriori immissioni) a distanza di 15", 30", 1', 2', 4', 8', 15', 20', 25', 30', 45', 60' dall'inizio dell'abbassamento, fino all'esaurimento del medesimo o al raggiungimento del livello di falda.

Le prove a carico variabile al di sotto del livello della falda possono essere eseguite abbassando il livello dell'acqua nel foro di un'altezza nota e misurando la velocità di risalita del livello (prove di risalita), oppure riempiendo il foro d'acqua per un'altezza nota e misurando la velocità di abbassamento del livello (prova di abbassamento).

Il coefficiente di permeabilità K (m/s) può essere determinato utilizzando la seguente formula:

$$K = A / (F \cdot T)$$

dove:

A = area della sezione trasversale del foro al livello dell'acqua, cioè la sezione del rivestimento (m^2)

F = fattore di forma che dipende dalla geometria della prova (m)

T = tempo di riequilibrio (basic time-lag) (s)

Il calcolo del fattore di forma F viene eseguito con la soluzione analitica indicata da Hvorslev (1951), scelta in base alla geometria della prova.

Per la determinazione di T si devono diagrammare i valori del rapporto h/h_0 , in scala logaritmica, con i corrispondenti valori di tempo t in scala decimale ($t = 0$ all'inizio della prova quando $h/h_0 = 1$, essendo h l'altezza misurata e h_0 l'altezza iniziale). Si traccia poi la retta che meglio collega i punti sperimentali diagrammati. In qualche caso, i punti sperimentali per valori di h/h_0 vicini ad 1 possono seguire una curva; ciò deve essere trascurato e la linea retta va tracciata attraverso i restanti punti. Si disegna quindi una retta parallela a quella precedente, ma che passa per l'origine degli assi ($h/h_0 = 1$; $t = 0$). Il valore del tempo t letto in corrispondenza del rapporto $h/h_0 = 0.37$ è il valore richiesto del tempo di riequilibrio T .

2.1.4.3 Metodo a carico idraulico costante

Il metodo a carico idraulico costante sarà eseguito mediante:

- immissione di acqua pulita nella batteria di rivestimento, fino alla determinazione di un carico idraulico costante, cui corrisponde una portata assorbita dal terreno costante e misurata;
- controllo della portata immessa a regime idraulico costante che sarà determinato con contaltri di sensibilità pari a 0.1 litri. La taratura del contaltri deve essere verificata in situ riempiendo un recipiente di volume noto e di capacità superiore a 100 litri;
- le condizioni di immissione a regime costante devono essere mantenute, senza variazione alcuna, per 10 - 20 min;
- a partire dal momento dell'interruzione della prova, si misureranno gli abbassamenti progressivi del livello dell'acqua all'interno del rivestimento a distanza di 15", 30", 1', 2', 4', 8', 15', proseguendo fino all'esaurimento dell'abbassamento o al raggiungimento del livello della falda.

La prova di abbassamento e la prova a carico costante possono essere eseguite anche nel terreno al di sopra del livello della falda. In tal caso però il terreno deve essere preventivamente saturato.

Il coefficiente di permeabilità K (m/s) viene determinato utilizzando la seguente formula:

$$K = Q / (F \cdot h)$$

dove:

Q = portata immessa o emunta (m^3/sec)

F = fattore di forma che dipende dalla geometria della prova (m)

h = differenza di altezza del livello dell'acqua provocato dall'immissione o dall'emungimento (m)

2.1.4.4 Documentazione

La documentazione di ciascuna prova comprenderà:

- informazioni generali;
- schema geometrico della prova;
- livello di falda;
- tempo di saturazione (se eseguita);
- portata a regime;
- letture degli abbassamenti in relazione ai tempi progressivi.

- interpretazione dei dati ottenuti e calcolo della permeabilità

2.1.5 Densità secca in situ

Dovrà essere eseguita secondo lo standard ASTM D1556

2.1.6 Prova di carico su Piastra

Dovrà essere eseguita secondo le norme

- C.N.R. Anno XXVI – N.146 – 14 Dicembre 1992. Determinazione dei Moduli di Deformazione Md e Md'
- C.N.R. Anno XVII – N.92 – 9 Maggio 1983. Determinazione del Moduli di Reazione "k"

2.1.7 Standard Penetration Test

Dovrà essere eseguita secondo le norme ISO 22476-3 o ASTM D1586

2.2 Specifiche tecniche indagini sismiche

2.2.1 Esecuzione dei profili sismici a rifrazione in onde P

Lo stendimento standard sarà costituito da 72 geofoni ad intervallo variabile fra 1.5 e 4 m; per ogni stendimento saranno realizzate minimo 20 registrazioni, corrispondenti ad altrettante energizzazioni di cui: due agli estremi e le restanti interne allo stendimento. Le energizzazioni potranno essere fatte in superficie se con martello o in pozzetti appositamente predisposti, di profondità non superiore a 0,20 m se con fucile. L'esecuzione di ogni linea sismica dovrà essere accompagnata da un rilievo plano-altimetrico di tutti i punti significativi (geofoni e punti di energizzazione) con precisione minima di 0.05 m. Per l'esecuzione dei profili sismici a rifrazione di dettaglio è richiesta la seguente strumentazione di base:

- Sistema d'acquisizione dati (registratore) digitale con le seguenti caratteristiche:
 - numero minimo di canali: 72;
 - intervalli di campionatura: 0.125, 0.25, 0.5, 1.0 ms;
 - lunghezza di registrazione minima 2 s con campionatura a 0.125ms;
 - stacking verticale;
 - formati di registrazione SEG-2, SEG-D 8038, SEG-D 8058;
 - risoluzione A/D: 24bit con convertitore A/D Delta-Sigma per canale;

- banda dinamica minima: 112 dB;
- dotazione di filtri anti-alias;
- possibilità di test interni sulla linea;
- cavi sismici multicanale di tipo normale con numero adeguato di ingressi per geofoni (p.e. 12+12), a intervalli massimi di 1-5 m;
- geofoni verticali con frequenza naturale di 14 Hz, non smorzati, in numero minimo di 30;
- sorgenti di energia: massa battente (martello) da 2 Kg e da 8 Kg; fucile da terreno;

2.2.2 Elaborazione dati

I dati del rilevamento saranno costituiti dalla geometria d'acquisizione (posizioni e quote relative dei punti di scoppio e dei geofoni) e dai tempi di primo arrivo delle onde elastiche compressionali (onde P), determinati manualmente sulle registrazioni riprodotte a schermo; non è ammesso il picking automatico dei primi arrivi. L'inversione dei dati dovrà essere eseguita secondo i criteri della tomografia sismica, mediante apposito software specialistico basato su tecniche di ottimizzazione non lineare (p.e. ASA, adapted simulation annealing).

2.2.3 Indagine

Verranno eseguiti 10 stendimenti di lunghezza pari a 108 metri con punto medio ubicato nei punti di esecuzione dei sondaggi indicati dal direttore dei lavori. In ciascuno stendimento i geofoni saranno posizionati con interasse pari a 1,5 metri. L'acquisizione e l'elaborazione dei dati saranno effettuate seguendo la specifica riportata al paragrafo precedente.

2.3 PROVE DI LABORATORIO

Le prove dovranno essere realizzate da un Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti all'esecuzione di prove sui terreni.

2.3.1 Conservazione ed apertura dei campioni indisturbati

All'arrivo in laboratorio, di ogni campione saranno controllati i dati identificativi (cantiere, sondaggio, data e profondità di campionamento etc) e verrà compilato il modulo di accettazione con l'indicazione di data di consegna, data di apertura e con ogni altra informazione disponibile riguardo le modalità di campionamento; successivamente i campioni saranno ricoverati in camera

climatica a temperatura e umidità relativa costanti (temperatura = 20°C e umidità relativa oltre 85%).

I campioni saranno estratti dalla fustella mediante estrusione orizzontale attuata con un estrusore pneumatico provvisto di variatore di pressione. I campioni saranno estratti con una sola corsa dell'estrusore e depositati su un banco posto allo stesso livello del bordo della fustella. Il campione sarà scorticato per liberarlo dal fango di perforazione e fotografato.

2.3.2 Descrizione dei campioni

La descrizione del campione sarà riportata in una scheda apposita o Certificato di Descrizione del Campione che riporterà le caratteristiche del campione osservate immediatamente dopo la sua estrusione e scorticazione. Saranno descritte: l'eventuale presenza di discontinuità, fratture o rammollimenti, le parti aventi caratteristiche omogenee, (settori) e la classificazione ai fini della sua utilizzabilità per prove di laboratori secondo i criteri seguenti:

- Campione idoneo per le sole prove di classificazione (granulometria, limiti di Atterberg, peso specifico dei grani, etc .) o per prove di resistenza su materiale ricostruito.
- Campione idoneo, oltre che per le prove precedenti, anche per determinazioni di contenuto d'acqua e di peso di volume.
- Campione idoneo, oltre che per le prove precedenti, anche per la misura della resistenza in condizioni drenate e non drenate
- Campione idoneo, oltre che per le prove precedenti, anche per le determinazioni di compressibilità. Prove di resistenza meccanica di tipo speciale o per determinazioni di caratteristiche dinamiche su materiale indisturbato.

Ogni singolo settore sarà analizzato a partire dalla testa del campione. Verranno riportati:

- delimitazione del settore (limiti espressi in metri, attribuendo alla testa del campione la profondità di campionamento),
- natura del materiale,
- colore,
- struttura (se riconoscibile),
- consistenza (se misurabile),
- presenza di materiale organico,
- reattività con acido cloridrico,

- strutture subordinate. discontinuità. torba e/o fossili.

Per i campioni rimaneggiati la descrizione sarà limitata alle informazioni relative a natura del terreno, colore, reattività con acido cloridrico ed eventuali presenze di strutture subordinate e/o torba o fossili.

La natura del terreno sarà descritta in riferimento alle dimensioni dei grani ed alla presenza percentuale dei diversi tipi di materiali, preliminarmente sulla base dell'osservazione dell'operatore e, successivamente, sulla base delle analisi granulometriche secondo le definizioni delle Raccomandazioni AGI (AGI, 1977).

Per il grado di arrotondamento dei grani di sabbia verranno usati i parametri introdotti da Rirtenhouse (Rirtenhouse, 1943); per quelli di ghiaia e ciottoli, quelli introdotti da Pettijohn (Pettijohn, 1949). Per la forma della ghiaia e dei ciottoli sarà utilizzata la classificazione di Gnaccolini (Gnaccolini, 1978).

Il colore fondamentale o i colori fondamentali (se più di uno, ma distribuiti senza una struttura particolare) saranno descritti in riferimento alla Tavola dei colori Munsell (Munsell, 1975) fornendo il nome e la sigla.

Per struttura si intende l'organizzazione macroscopica delle particelle costituenti il materiale. Essa sarà individuata in riferimento alle seguenti classi:

- Struttura omogenea: consiste in una organizzazione indifferenziata delle particelle;
- Struttura a livelli: consiste nella presenza di livelli (spessore di materiale maggiore di 6 mm) che si alternano nel settore;
- Struttura laminata: consiste nella presenza di laminazioni e livelli (rispettivamente con spessore di materiale inferiore o superiore a 6 mm) che si alternano nel settore;
- Struttura caotica: è individuata da segni evidenti di rimescolamento legato a fenomeni naturali;
- Struttura scagliosa: è individuata dall'attitudine del materiale a sfaldarsi secondo "scaglie".

La consistenza sarà descritta sulla base dei risultati del Penetrometro Tascabile condotti sulle teste del campione o sui fianchi previamente scorticati. Le classi di consistenza sono elencate nella seguente tabella:

Classi di consistenza	Valore del penetrometro tascabile (MPa)
Privo di consistenza	≤ 0.025
Molle o poco consistente	$0.025 < P_p \leq 0.05$
Moderatamente consistente	$0.050 < P_p \leq 0.10$
Consistente (o compatto)	$0.10 < P_p \leq 0.20$
Molto consistente (o molto compatto)	$0.020 < P_p \leq 0.40$
Duro (o estremamente compatto)	$P_p > 0.40$

2.3.3 Prove di classificazione

Su ciascun campione verranno determinati:

- contenuto d'acqua (w).
- peso di volume umido (y). Il peso di volume umido sarà calcolato mediante la misurazione di dimensioni e peso del terreno ancora contenuto in fustella e dei provini di forma regolare predisposti per l'esecuzione delle prove meccaniche.
- limiti di liquidità e di plasticità (LLP) (ASTM D4318).
- Analisi Granulometrica (Gr) (ASTM D422/90). La determinazione della curva granulometrica sarà eseguita per vagliatura ad umido del materiale trattenuto al vaglio n.200 ASTM e per sedimentazione del passante allo stesso vaglio. Sarà determinata la classe di dimensione inferiore a 1 μm .
- Densità dei grani (Gs) Verrà misurata con l'impiego di picnometri utilizzando terreno essiccato in forno e successivamente disgregato in mortaio. Per ogni prova saranno eseguite due determinazioni indipendenti ed il valore fornito sarà la media di queste.

2.3.4 Prove di Compattazione

Per le prove sarà utilizzato lo standard ASTM D698 o D1557. Gli elaborati di prova comprenderanno la curva densità secca – umidità.

2.3.5 Prove meccaniche

I campioni coesivi indisturbati verranno fustellati mediante fustella in acciaio inox dotata di bordo tagliente al fine di ottenere provini di diametro adatto alla particolare prova che si intende eseguire. I provini ottenuti sono rasati con un coltello affilato al fine di ottenere superfici di base piane e parallele.

2.3.5.1 Prova di taglio diretto consolidata anisotropicamente drenata (D5 CKOD)

Sarà realizzata in riferimento alla standard ASTM D3080/90 con l'apparecchio di Casagrande. Dopo la fase di saturazione e consolidazione a deformazione laterale impedita alle tensioni verticali previste, verrà iniziata la fase di rottura a velocità di deformazione controllata e tale da consentire la dissipazione dell'eccesso di pressione interstiziale. La scelta della velocità avverrà sulla base del tempo di consolidazione (t_{100}) rilevato per l'ultimo incremento di pressione verticale applicata (Bishop et al., 1957).

La misura della resistenza residua avverrà durante il ciclo n. 5, ossia al termine del ciclo di taglio dedicato alla misura della resistenza massima ed alla successiva esecuzione di 3 cicli veloci.

Le tensioni di preconsolidazione saranno comprese fra 50 e 350 kPa.

- La documentazione di prova comprenderà, per ciascuna delle tre prove a tensione verticale efficace differente: diagramma della resistenza di taglio τ in funzione dello spostamento orizzontale; diagramma della deformazione verticale in funzione dello spostamento orizzontale;
- Diagramma riassuntivo $\tau - \sigma_v'$;
- Tabella riassuntiva contenente le caratteristiche iniziali del provino ed i dati misurati alla fine della fase di consolidazione e durante le prove.

2.3.6 Tabella riassuntiva

ATTIVITA'	STANDARD DI RIFERIMENTO
Esecuzione sondaggi	Specifica tecnica
Prelievo e conservazione campioni	Specifica tecnica
Prove di tipo Lefranc	Specifica tecnica
Determinazione densità in situ	ASTM d1556
Prove di carico con piastra	CNR anno xxvi – n.146 – 14 dicembre 1992 CNR anno xvii – n.92 – 9 maggio 1983
SPT	ISO 22476-3 o ASTM d1586
Prova di taglio diretto	ASTM d3080/90 e specifica tecnica
Umidità	ASTM d2216

Fiume Posada. Interventi per la mitigazione del rischio idraulico nei territori a valle della diga di Maccheronis

Limiti di liquidità e di plasticità (llp)	ASTMd4318
Analisi granulometrica (gr)	ASTMd422/90