

COMMITTENTE:



**CONSORZIO DI DIFESA TERRE GOLENALI
DEL COMUNE DI BRESCELLO**
c/o Comune di Brescello
Piazza Matteotti, n.° 12
42041 Brescello (Provincia di Reggio Emilia)

IMPRESA ESECUTRICE: SUBSOIL Srl

Indagini geologiche & monitoraggio geotecnici



SUBSOIL
INDAGINI GEOLOGICHE & MONITORAGGI GEOTECNICI

*UNI EN ISO 9001:2000 Sincert RT-05
Certificazione ambientale ISO 14001
SOA per la cat. OS 20B
Laboratorio Concessionato dal Ministero n° 3655 Cic. 7619/STC settore C
Operatore certificato RINA RC/C18 ISO 9712 controlli sulle murature e calcestruzzo*

**INDAGINI GEOGNOSTICHE
LOCALITA' GHIAROLE
COMUNE DI BRESCELLO (RE)**

**Indagine preliminare sull'arginatura consortile di Ghiarole
volta alla verifica della stabilità, imbibizione e sifonamento
nelle condizioni più gravose**

VERBALE LAVORO

Codice Commessa	Documento	ALLEGATI
03302516_FG	VERLAV	n.° 6

		IMPRESA ESECUTRICE		
Rev.	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
A	Emissione	LUGLIO 2016	LUGLIO 2016	LUGLIO 2016
		Dott. Roberto Spagni	Dott. Roberto Spagni	Dott. Geol. Fabrizio Giorgini



Via Morandi 3, - Quattro Castella (RE)
Tel. 0522/887268 - Fax. 0522/249540

Verbale lavoro relativo alle indagini geognostiche eseguite sull'argine di Ghiarole

INDICE

1. PREMESSA	4
2. INDAGINI ESEGUITE	6
2.1 Prove penetrometriche statiche elettriche con piezocono (CPTU)	6
2.2 Prova di dissipazione	7
2.3 Indagine geoelettrica	8
2.4 Sondaggi	10
2.5 Prove di permeabilità tipo "Lefranc"	11

ALLEGATI

ALLEGATO 1

Ubicazione prove

ALLEGATO 2

Prove penetrometriche statiche elettriche (CPTU)

ALLEGATO 3

Prova di dissipazione

ALLEGATO 4

Indagini geoelettriche (GEO)

ALLEGATO 5

Sondaggi corti (S)

ALLEGATO 6

Permeabilità in foro (LE)



Via Morandi 3, - Quattro Castella (RE)
Tel. 0522/887268 - Fax. 0522/ 249540

Verbale lavoro relativo alle indagini geognostiche eseguite sull'argine di Ghiarole

1. PREMESSA

Su incarico ricevuto dal "Consorzio di difesa terre golenali del comune di Brescello" si è proceduto alla realizzazione di una campagna di indagini geognostiche lungo l'argine del fiume Po a protezione della frazione di Ghiarole nel Comune di Brescello in Provincia di Reggio Emilia.

Nei mesi di Giugno e Luglio 2016 sono state eseguite le seguenti prove:

- n.° 6 prove penetrometriche statiche con punta elettrica (CPTU)
- n.° 1 prova di dissipazione durante la prova CPTU
- n.° 5 stendimenti di geoelettrica
- n.° 2 sondaggi a carotaggio corti
- n.° 2 prove di permeabilità in foro tipo Lefranc

L'area oggetto di studio è riportata in figura 1, mentre nell'[Allegato 1](#) sono riportate le ubicazione delle varie prove eseguite.



Figura 1: Ubicazione area di indagine

2. INDAGINI ESEGUITE

2.1 Prove penetrometriche statiche elettriche con piezocono (CPTU)

La prova penetrometrica statica elettrica con piezocono consiste nella misura della resistenza alla penetrazione dei terreni mediante l'utilizzo di una di una punta conica di dimensioni e caratteristiche standard, infissa a velocità costante nel terreno tramite un dispositivo di spinta che agisce su una batteria di aste.

La presenza del piezocono, ossia una particolare punta elettrica munita di un filtro poroso situato subito dietro alla base del cono collegato ad un trasduttore di pressione, consente la misura continua durante la penetrazione della resistenza alla punta (pc), dell'attrito laterale locale (fs) e della pressione interstiziale (U).

La prova è stata eseguita seguendo le prescrizioni riportate nelle seguenti norme di riferimento:

- *ASTM D3441-86 "Deep, quasi-static, cone and friction cone penetration tests of soil"*
- *ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing. Cone Penetration Testing (CPT): International Reference Test Procedure.*

Sono state eseguite n.° 6 prove penetrometriche statiche elettriche con piezocono (CPTU) utilizzando come dispositivo di spinta un penetrometro statico tipo TECNOTECH autoancorante/zavorrato montato su camion FIAT PC90 4x4, caratterizzato da una spinta nominale di 20 ton., una corsa di 1,20 m. per permettere l'inserimento delle aste, una velocità di infissione della batteria di aste di 2 cm/s ($\pm 0,5$ cm/s).

Il piezocono impiegato è prodotta dalla ditta Tecnopenta Sas modello TP-CPL2IN s/n 150902 con le seguenti caratteristiche:

Punta elettrica-piezocono tipo TP-CPL2IN s/n 101209	
PUNTA CONICA	
Diametro	35,7 mm
Altezza nominale	30,9 mm
Angolo d'apertura	60°
Area nominale	1000 mm ²
Altezza (base cilindro - filtro)	10 mm
Altezza quadring	3,5 mm
PIEZOCONO	
Area punta	10,0 cm ²
Diametro	35,7 mm
Area netta	6,6 cm ²
Superficie manicotto	150,0 cm ²
Lunghezza manicotto	133,7 mm
Area superiore manicotto	2,22 cm ²
Area inferiore manicotto	3,31 cm ²
Lunghezza totale punta	600,0 mm
Peso complessivo	3,00 kg
Lunghezza raccordo punta-aste	250,0 mm

Tabella 2.1: Caratteristiche punta elettrica

La prova è stata eseguita secondo le procedure standard, ovvero attraverso l'infissione della punta elettrica (piezocono) a velocità costante di 2 cm/s, e registrazione dei valori della resistenza alla punta q_c e dell'attrito laterale f_s locale ogni 2 cm.

Il penetrometro è stato posizionato in forma tale da garantire la verticalità dell'applicazione del carico.

Tramite il piezocono, opportunamente saturato a grasso di litio prima dello svolgimento della prova, è stato possibile acquisire un terzo parametro, cioè la pressione neutrale dell'acqua U del terreno attraversato.

L'inclinazione dello strumento durante l'avanzamento nel sottosuolo è determinata per mezzo di inclinometri.

L'acquisizione e la restituzione dei dati è fornita tramite un sistema analogico digitale munito di "encoder" di sincronizzazione con l'avanzamento delle aste nel terreno, di registratore grafico di R_p (resistenza alla punta), f_s (resistenza laterale), $u+\Delta u$ (pressione interstiziale) ed inclinazione, di registratore grafico della variazione nel tempo della pressione interstiziale per le prove di dissipazione.

Il sistema si compone di alcuni dispositivi fondamentali quali:

- centralina di interfaccia con Personal Computer;
- cavo di collegamento tra punta e centralina interno alle aste di penetrazione;
- sistema di sincronizzazione tra l'avanzamento della punta ed il sistema d'acquisizione dati;
- interruttore di comando;
- software di gestione del sistema per la visualizzazione dell'andamento dei parametri rilevati, la loro registrazione ed altre funzioni.



Figura 2: Sistema di acquisizione dati.

Il sistema di acquisizione dei segnali provenienti dalla punta è gestito da un programma che consente la visualizzazione in forma grafica dei valori della prova penetrometrica in corso, quali resistenza alla punta e laterale, pressione dell'acqua, inclinazione, velocità d'avanzamento, profondità raggiunta e temperatura del piezocone direttamente sul video del PC.

Nell'[Allegato 2](#) sono riportati i certificati di prova, nei quali sono riportati in forma grafica e numerica tutte le grandezze di seguito riportate e registrate ogni due 2cm:

- la curva della resistenza penetrometrica alla punta (qt: cone resistance), espressa in Mpa;
- la curva della resistenza penetrometrica laterale (fs: friction ratio), espressa in kPa;
- la curva delle pressioni neutre, espresse in (kPa);
- la curva dell'inclinazione della punta durante l'infissione (°).

Nella seguente tabella (tabella 2.2) è riportata la profondità delle CPTU e le relative profondità della falda rilevata.

Prova n.º	Certificato prova	Profondità prova (m. da p.c.)	Data esecuzione prove	Profondità falda (m. da p.c.)
CPTU pk 2980	017E_2016 del 28/06/2016	20,12 m.	23/06/2016	9,42 m.
CPTU pk 3880	018E_2016 del 28/06/2016	15,04 m.	23/06/2016	9,44 m.
CPTU pk 1855	019E_2016 del 28/06/2016	10,02 m.	23/06/2016	9,40 m.
CPTU pk 1250	020E_2016 del 28/06/2016	10,18 m.	23/06/2016	9,38 m.
CPTU pk 043	021E_2016 del 6/07/2016	10,18 m.	4/07/2016	assente
CPTU pk 3900	022E_2016 del 6/07/2016	10,10 m	4/07/2016	foro chiuso

Tabella 2.2: Prove CPTU

2.2 Prova di dissipazione

La prova di dissipazione si esegue arrestando la penetrazione del piezocone nel terreno e graficando l'andamento della sovrapressione in funzione del tempo si ottiene la "curva di dissipazione" della pressione neutra.

La pressione interstiziale in eccesso dovuta alla penetrazione inizia a dissiparsi per raggiungere gradualmente la pressione idrostatica. La velocità di dissipazione dipende dal coefficiente di consolidazione, ossia dalla compressibilità e dalla permeabilità del terreno.

La prova viene sospesa quando il grado di dissipazione U raggiunge una percentuale del 60 – 80%.

È comunque raccomandato che la prova sia proseguita fino ad un valore di U del 50%.

Se si vuole raggiungere la pressione interstiziale di equilibrio presente in situ, la prova di dissipazione dovrebbe continuare finché non si osserva nessuna ulteriore diminuzione della pressione interstiziale. Questo può avvenire rapidamente nelle sabbie, ma può necessitare parecchie ore se non giorni nel caso di argille.

Raggiunta la profondità di esecuzione della prova, è opportuno liberare la batteria delle aste dalla testa e dalla morsa in modo che l'accorciamento elastico delle aste, che si verifica durante la penetrazione, possa verificarsi verso l'alto lasciando fermo il cono.

La rappresentazione della "curva di dissipazione" si può ottenere con due tipi di grafici in scala semilogaritmica:

- la variazione della pressione neutra in funzione del tempo;
- la variazione della pressione neutra normalizzata in funzione della pressione idrostatica secondo la formula $(U_t - U_0) / (U_i - U_0)$ dove U_t è la pressione interstiziale misurata, U_i è il valore iniziale (metre U_0 è la pressione idrostatica).

Per definire la permeabilità dei terreni si usa la seguente relazione visto che il piezocone utilizzato presenta il filtro dietro al cono utilizzando il valore di T_{50} (tempo corrispondente alla 50% della dissipazione):

$$k(\text{cm/sec}) = 1 / (251 \times T_{50}) \times 1,25$$

Per quanto riguarda il coefficiente di consolidazione radiale c_h è stato calcolato secondo l'equazione proposta da Housby e Teh (1988):

$$c_h = (T \times r^2 \times I_r^{0.5}) / T_{50}$$

dove:

T : fattore tempo ottenuto da Housby and Teh's (1988) "teoria della pressione interstiziale"

r : raggio cono (0,01785 m)

I_r : indice di rigidità corrispondente a rapporto G/S_u

Nell'Allegato 3 sono riportati i risultati della prova di dissipazione effettuata i cui valori sono riportati schematicamente in Tab.2.3.

CPTU	Prova	Profondità(m)	%Dissipata	T_{50} (sec)	T	I_r	K(m/s)	C_h (m/s)
CPTU pk 2980	Diss 1	7,36 m	22,8 %	1805	0,245	100,00	2,76E-06	4,32E-07

Tab 2.3: Tabella riassuntiva parametri desunti dalle prove di dissipazione.

2.3 Indagine geoelettrica

La metodologia generalmente definita "geoelettrica" rappresenta uno dei metodi geofisici più utilizzati per la caratterizzazione dei materiali del sottosuolo.

Il parametro di base è la resistività elettrica, proprietà fisica che esprime la "resistenza" che i materiali offrono al passaggio della corrente.

Le misure geoelettriche consentono quindi, studiando le deformazioni del flusso di corrente causate dalle diverse strutture nel sottosuolo, di caratterizzare le strutture stesse e ricostruirne la distribuzione spaziale.

La resistività delle diverse formazioni geo litologiche è determinata essenzialmente dai seguenti fattori:

- porosità (forma, dimensione e continuità dei pori);
- percentuale di contenuto d'acqua dei pori;
- salinità del liquido di saturazione dei pori;
- presenza di matrice a granulometria fine;
- conducibilità intrinseca dei minerali di base.

È pertanto evidente che i materiali più addensati e/o grossolani presentano valori di resistività più elevati, mentre i materiali più disgregati e/o fini associati a presenza d'acqua, hanno una resistività inferiore.

Come accennato la misura del valore di resistività elettrica dei materiali si realizza creando un campo elettrico artificiale nel mezzo da indagare e studiandone la distribuzione nel sottosuolo (dispositivo quadripolare). Generalmente i dispositivi sono simmetrici rispetto ad un punto centrale O al quale si riferisce il valore misurato.

La coppia di elettrodi attraverso la quale si immette corrente nel terreno è denominata C1-C2 o A-B, mentre la coppia attraverso la quale si misura la differenza di potenziale generata nel terreno stesso dal passaggio della corrente è chiamata P1-P2 o M-N.

Si misurano così le variazioni del campo elettrico, indotte dalle eterogeneità litologiche presenti nel sottosuolo.

Queste variazioni sono più o meno marcate in funzione del contrasto di resistività elettrica esistente tra mezzi con caratteristiche differenti.

La distribuzione della corrente in profondità e quindi la profondità dell'esplorazione è essenzialmente legata alla distanza tra i due elettrodi C1 e C2 ed alle caratteristiche intrinseche del mezzo esplorato.

La scelta del dispositivo più opportuno è legata alle condizioni dell'area da indagare sia in termini strutturali sia di rapporto segnale-rumore.

Dalla misura dell'intensità di corrente che fluisce tra gli elettrodi C1-C2 e della differenza di potenziale tra gli elettrodi P1-P2 è possibile calcolare la resistività apparente e riferirla generalmente al centro del quadripolo ad una profondità che è funzione della distanza C1C2.

L'acquisizione tomografica consiste quindi nella misura dei valori di resistività in corrispondenza di un elevato numero di punti lungo la sezione d'indagine.



Figura 3: Elettrodi utilizzati per l'acquisizione geoelettrica

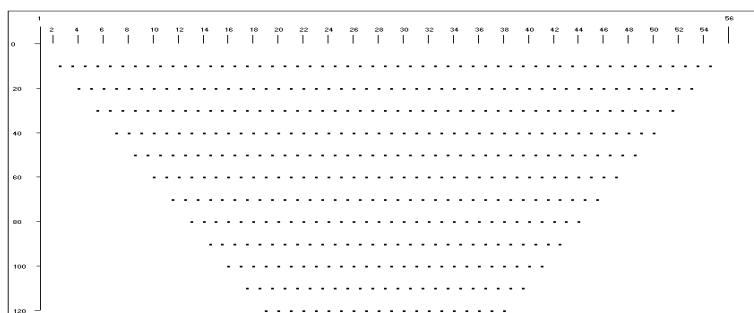


Figura 4: Tomografia elettrica – Schema misure.

La densità dei punti consente di ricostruire con estremo dettaglio, anche tramite l'applicazione di algoritmi di calcolo bidimensionali, la sezione definendo in particolare gli effetti delle variazioni laterali e quindi ricostruendo una rappresentazione finale maggiormente corrispondente alla situazione reale.

L'acquisizione dei dati è stata condotta con l'utilizzo di una centralina PASI modello 16SG24 N combinato per effettuare anche acquisizioni sismiche ed energizzatore PASI P-300T.

Lo strumento, dopo aver indicato la posizione di ciascun picchetto, inizia a gestire i vari elettrodi, trasformandoli di volta in volta in elettrodi di misura o di corrente fino a completare il sondaggio.

I valori via via acquisiti vengono riportati in tabelle ed in caso di necessità ogni singola acquisizione può essere ripetuta. Le acquisizioni possono anche essere visualizzate in un diagramma semilogaritmico C1C2/2-resistività apparente permettendo in questo modo un primo controllo diretto sulla qualità dell'acquisizione e la presenza di eventuali anomalie.

È stato scelto di misurare la resistività apparente secondo lo stendimento Wenner-Schlumberger che consiste nella combinazione degli stendimenti Wenner e Schlumberger. L'elaborazione dei dati è stata eseguita con il programma RES2DINVx64 ver. 4.05.

Nel mese di Giugno 2016 sono stati eseguiti n.° 5 stendimenti di geoelettrica composti le cui caratteristiche sono riportate in tabella 2.4, mentre i risultati dell'indagine geoelettrica sono riportati in Allegato 4.

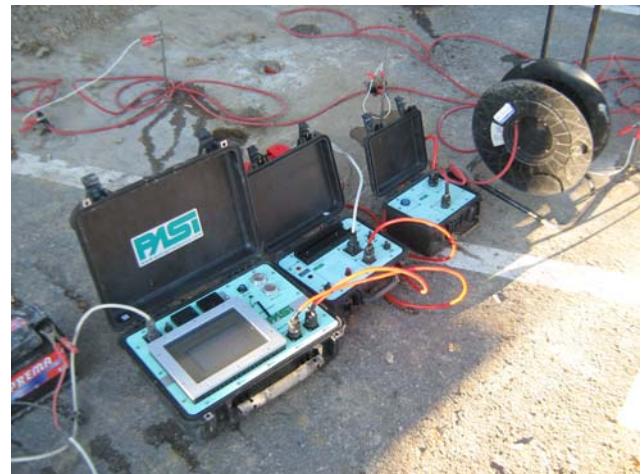


Figura 5: Tomografia elettrica – strumentazione.

Prova n.°	n.° elettrodi	Passo elettrodi (m.)	Lunghezza stendimento	Data esecuzione
GEO 3380	32	3,00 m	96,00 m.	14/06/2016
GEO 2980	32	3,00 m	96,00 m.	14/06/2016
GEO 1250	32	3,00 m	96,00 m.	14/06/2016
GEO 1855	32	3,00 m	96,00 m.	14/06/2016
GEO par	32	5,00 m	160,00 m.	15/06/2016

Tabella 2.4: Prove di tomografia elettrica

2.4 Sondaggi

Il 4 Luglio 2016 sono stati realizzati n.° 2 sondaggi corti a carotaggio continuo, mediante sonda montata su autocarro FIAT PC 90 con le seguenti caratteristiche tecniche (tabella 2.5):

Apparecchio di trivellazione	ATLAS COPCO A35C
Allestimento	Autocarro trazione integrale
Velocità massima di rotazione	0-470 giri/min
Coppia massima	800 Kg m

Corsa continua	3700 mm
Spinta	3100 N
Tiro	3100 N
Morsa idraulica per rivestimenti e/o aste	
Pompa fluidi	NENZI TRIPPLEX 200
Pressione max	70 bar
Portata	200 l min

Tabella 2.5: Caratteristiche sonda di perforazione

L'esecuzione dei sondaggi è stata effettuata utilizzando attrezzature a rotazione idraulica secondo il metodo del carotaggio continuo verticale con carotieri semplici della lunghezza da 150 cm e di diametro esterno pari a 101 mm.. La stabilità delle pareti dei fori è stata assicurata mediante l'impiego di rivestimenti metallici provvisori, aventi diametro di 127 mm. Tale rivestimento segue immediatamente ogni manovra di avanzamento del carotiere, ed è poi estratto e recuperato a fine perforazione. La perforazione è stata condotta garantendo una percentuale di recupero pari al 100% in modo tale da consentire una sicura e dettagliata ricostruzione stratigrafica del sottosuolo.

Il materiale recuperato è stato alloggiato in apposite cassette catalogatrici in plastica sulle quali sono riportati tutti i dati necessari al loro riconoscimento (denominazione del cantiere, numero della cassa, profondità del prelievo, ecc.). Le stratigrafie relative al sondaggio e tutte le fotografie delle casse contenenti i campioni sono riportate in Allegato 5.

In tabella 2.6 sono riportate le caratteristiche dei sondaggi corti effettuati.

Sondaggio	Profondità (m. da p.c.)	Data esecuzione	Certificato prova	Prove in foro
S1855	2,00 m.	4/07/2016	063C_2016 del 7/07/2016	Lefranc.
S2980	3,00 m.	4/07/2016	064C_2016 del 7/07/2016	Lefranc.

Tabella 2.6: Caratteristiche sondaggi

2.5 Prove di permeabilità tipo "Lefranc"

La prova consente di misurare la permeabilità (o conducibilità idraulica) del terreno in un foro di sondaggio; 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 ($\sqrt{K_h \cdot K_v}$).

La prova può essere condotta a carico variabile o costante, a seconda della conducibilità idraulica del terreno.

Visto l'entità degli abbassamenti del livello dell'acqua all'interno della colonna di tubi di rivestimento, si è deciso di volta in volta di eseguire prove a carico variabile.

MODALITÀ ESECUTIVE

Per eseguire la prova è stato necessario tenere presente alcuni aspetti fondamentali:

- La perforazione è stata eseguita senza l'impiego di fanghi utilizzando come fluido di circolazione solo acqua pulita;
- Si è evitato che all'esterno del rivestimento metallico utilizzato per sostenere la parete del foro si crei una via preferenziale di scorrimento dell'acqua immessa durante la prova.

- Si è evitato che, nel perforare il tratto da sottoporre a prova, si verifichino vistosi fenomeni di "bruciatura" sul fondo del foro e "spalmatura" di terreno coesivo sulla parete del foro, tali da alterare la composizione granulometrica e la compattezza del terreno interessato.

Prova Lefranc a carico variabile

La prova Lefranc a carico variabile è stata eseguita con le seguenti modalità:

- a) misurato del livello della falda prima di eseguire la prova;
- b) alzato il livello del rivestimento e riempito con acqua fino all'estremità superiore del tubo;
- c) dal momento in cui è stato sospeso l'immersione dell'acqua si inizia a misurare il livello nel rivestimento ad intervalli di tempo frequenti, annotando ora, minuto e secondo di ciascuna lettura; gli intervalli di tempo, cioè la frequenza delle letture, verranno scelti basandosi sulla velocità di discesa dell'acqua nel rivestimento.

Il coefficiente di permeabilità K (m/s) può essere determinato utilizzando la seguente formula proposta dalle Raccomandazioni AGI del 1977:

$$k = \frac{A}{Cf(t_2 - t_1)} \ln(h_1/h_2)$$

In Tab. 2.7 sono riportate le profondità di esecuzione delle prove e i valori di permeabilità misurati, mentre in Allegato 6 sono riportate le elaborazioni delle prove.

Nome sondaggio	Nome sondaggio	Data	Profondità camera	k (m/s)
S2980	009LE_2016 del 6/07/2016	4/07/2016	2,00 – 3,00 m	6,66E-07 m/s
S1855	010LE_2016 del 6/07/2016	4/07/2016	1,00 – 2,00 m	1,17E-06 m/s

Tabella 2.7: Prove Lefranc a carico variabile

Luglio 2016

Il geologo
Dott. Fabrizio Giorgini