

(PR-E-1047) PIANO DELLE INDAGINI  
PROPEDEUTICHE ALLA  
PROGETTAZIONE DEFINITIVA

M-G-017

## INDICE

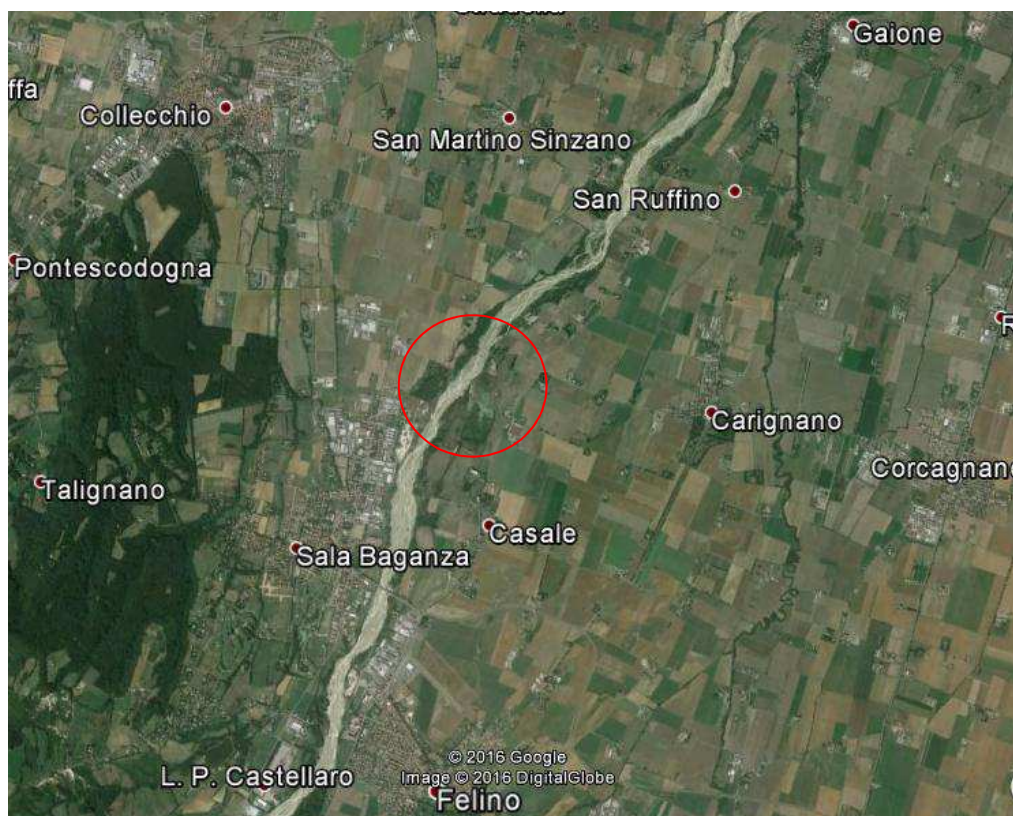
---

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2. INDAGINI .....</b>	<b>5</b>
2.1 GENERALITÀ .....	5
2.2 IDROGEOLOGIA E GEOTECNICA.....	7
2.3 DETERMINAZIONE DELLA GRANULOMETRIA DELL'ALVEO DEL T. BAGANZA.....	9
2.3.1 <i>Campionamento dello strato superficiale</i> .....	10
2.3.2 <i>Campionamento del substrato</i> .....	10
2.4 TERRE E ROCCE DA SCAVO.....	11
2.5 INDAGINE PRELIMINARE AMBIENTALE DELLA POSSIBILE 'DISCARICA INCONTROLLATA E/O ABUSIVA DI RIFIUTI SOLIDI MISTI' CENSITA NELLA CARTA DELLA VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI ALL'INQUINAMENTO - ALTA E MEDIA PIANURA PARMENSE' .....	14
<b>3. CARATTERISTICHE TECNICHE .....</b>	<b>16</b>
3.1 SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO, PROVE IN FORO E INSTALLAZIONE DI PIEZOMETRI.....	16
3.1.1 <i>Esecuzione di sondaggi a carotaggio continuo</i> .....	17
3.1.2 <i>Installazione di piezometro a tubo aperto</i> .....	28
3.1.3 <i>Prove di Laboratorio</i> .....	32
3.2 PROVE GEOFISICHE TIPO MASW 2D .....	51
3.3 PREDISPOSIZIONE DI CAMPI PROVA PER L'ESECUZIONE DI PROVE DI POMPAGGIO .....	54
3.3.1 <i>Perforazione dei pozzi pilota</i> .....	55
3.3.2 <i>Test di pompaggio a portata costante</i> .....	62
3.3.3 <i>Installazione impianti per esecuzione di prove di pompaggio</i> .....	63
<b>4. CONDIZIONI GENERALI.....</b>	<b>65</b>
<b>5. ASPETTI ECONOMICI E TEMPORALI .....</b>	<b>67</b>
5.1 TEMPO UTILE PER L'ESECUZIONE DEI LAVORI.....	67
5.2 PREZZI UNITARI .....	67
5.3 QUADRO ECONOMICO .....	68

## 1. PREMESSA

Il documento in oggetto è stato redatto con la finalità di definire le indagini propedeutiche alla progettazione definitiva della Cassa di Espansione del Torrente Baganza nei comuni di Felino, Sala Baganza, Collecchio e Parma (PR-E-1047).

L'ubicazione dell'area della futura cassa di espansione è riportata in **Figura 1**.



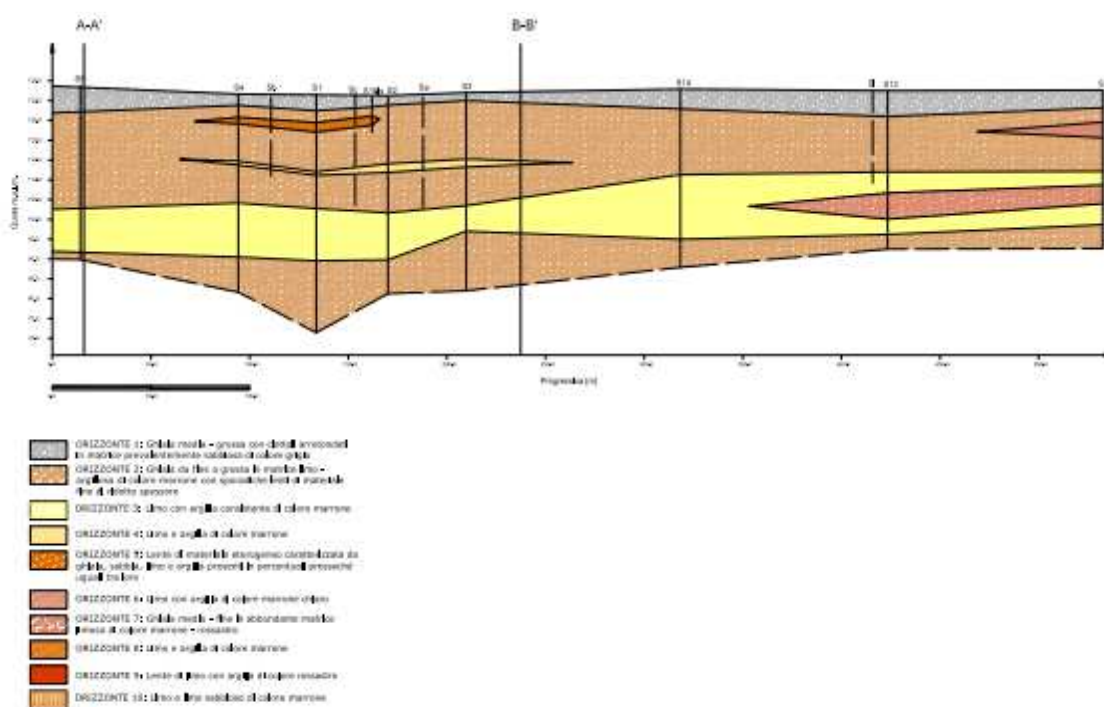
**Figura 1** – Inquadramento territoriale dell'opera

Dette indagini integrative sono in particolare finalizzate ad approfondire i seguenti aspetti:

- la caratterizzazione sismica dei terreni;
- l'identificazione del riflettore sismico (verifica dell'amplificazione sismica locale come previsto dallo studio sismico del Progetto preliminare a base di gara);
- la conoscenza dell'assetto piezometrico e della permeabilità dei terreni nell'ambito di possibile influenza delle perturbazioni indotte della nuova Cassa;
- la caratterizzazione chimica e merceologica delle terre di scavo.

A tal fine si è tenuto in debito conto la campagna di indagini svolte propedeuticamente alla progettazione preliminare da parte di AIPo, ed in particolare dei sondaggi (eseguiti sia a carotaggio continuo che a distruzione di nucleo), alcuni di essi successivamente attrezzati con piezometro a tubo aperto.

Da un punto di vista geolitologico, il sottosuolo dell'area interessata dall'opera è costituito da alluvioni fluviali a litologia ghiaiosa e sabbiosa immerse in abbondante matrice limosa, attribuite alla conoide del T. Baganza, talora alternate a livelli prevalentemente limoso-argillosi, come riportato a titolo esemplificativo nella sezione litologica in **Figura 2**.



**Figura 2** - Sezione litologica

Il succitato livello limoso-argilloso sembra determinare, sulla base degli approfondimenti effettuati in sede di progetto preliminare, una compartimentazione locale del primo acquifero, tale da determinare la presenza, quanto meno nel tratto interessato dall'opera, di una prima falda libera da una sottostante seconda falda semiconfinata.

Presso il settore in oggetto la prima falda libera, che rappresenta il corpo idrico sotterraneo di interesse per la problematica in oggetto, presenta una soggiacenza limitata a 1-3 m e pertanto la falda risulta pressoché subaffiorante.

Le indagini integrative proposte, descritte nei successivi capitoli, permetteranno pertanto di disporre di un quadro conoscitivo completo:

- delle caratteristiche dell'acquifero su cui l'opera verrà realizzata, in relazione alla modellazione numerica che sarà implementata in sede di progettazione definitiva;
- delle proprietà geotecniche dei materiali superficiali e profondi (questi ultimi con particolare riferimento allo strato comprimibile);
- delle caratteristiche chimico fisiche dei materiali oggetto di escavazione, al fine della loro definizione come materiale utile alla realizzazione del sistema arginale e come sottoprodotto (e poter quindi essere riutilizzati nell'ambito della procedura delle terre e rocce da scavo);
- della natura dei terreni individuati nella progettazione preliminare della Cassa di espansione del 2004 come possibile "discarica incontrollata e/o abusiva di rifiuti solidi misti".

Negli elaborati grafici ("*BAG IND001*" e "*BAG IND002*") allegati al presente Piano delle indagini sono individuate planimetricamente tutte le indagini previste; in fase esecutiva, al fine di raggiungere gli obiettivi definiti, alcune indagini potranno essere ulteriormente dettagliate e posizionate, in accordo con la Direzione Lavori.

Si rileva, infine, come le indagini previste nel presente piano, oltre ad essere in linea con quanto previsto nel progetto preliminare, adempiono alle prescrizioni di cui al parere della *Direzione Generale per le Dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche- Ufficio Tecnico per le Dighe di Milano* (Prot. n. 2029 del 03.02.2016).



## 2. INDAGINI

### 2.1 Generalità

Nei successivi paragrafi vengono descritte nel dettaglio le indagini geognostiche, riportate nelle planimetrie allegate, pur nella consapevolezza che la loro effettiva posizione potrà subire locali variazioni in fase esecutiva (su richiesta della Direzione lavori) in funzione delle risultanze delle indagini stesse, ed in relazione alle finalità espresse in premessa.

Nella tabella che segue vengono sintetizzate le diverse prove previste nel piano.

TIPO DI INDAGINE		FINALITA'
<b>In situ</b>		
<i>Dirette</i>	<i>Indirette</i>	
Sondaggi a carotaggio continuo		Profilo stratigrafico, prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati
Sondaggi a distruzione di nucleo		Installazione piezometri
	Prove dinamiche in foro di sondaggio tipo SPT	Parametri geotecnici
Prove Lefranc		Parametri idrogeologici
	Prove di permeabilità su pozzo	Parametri idrogeologici
	Indagine geofisica	Profilo stratigrafico, parametri geotecnici
Piezometri		Misure livelli di falda
Installazione di n.4 data logger <sup>1</sup> su piezometri esistenti		Misure livelli di falda
Pozzetti esplorativi		Profilo stratigrafico, prelievo di campioni rimaneggiati anche per analisi terre e rocce da scavo
Pozzetti ambientali		Profilo stratigrafico, prelievo di campioni per analisi ambientali
Campionamento in alveo		Granulometria materiale d'alveo
<b>In laboratorio</b>		
Prove di classificazione (contenuto naturale d'acqua, peso di volume, limiti di Atterberg e granulometria)		Classificazione terre
Analisi granulometriche per sedimentazione		Classificazione terre per materiali fini

<sup>1</sup> Non oggetto dell'offerta

TIPO DI INDAGINE	FINALITA'
Prove di compressione a espansione laterale libera (ELL)	Caratteristiche di resistenza al taglio in condizioni non drenate
Prove di taglio diretto	Caratteristiche di resistenza al taglio in condizioni drenate
Prove edometriche	Caratteristiche di compressibilità
Prove di Colonna risonante e cicliche in cella triassiale	Comportamento dei terreni in condizioni sismiche e post sismiche
Prove di costipamento AASHTO	Determinazione delle condizioni ottimali per la posa dei materiali per la realizzazione degli argini
Analisi chimiche sui campioni rimaneggiati prelevati dalle trincee	Caratterizzazione ai fini delle Terre e rocce da scavo e Ambientali

Di seguito vengono riassunte le quantità previste:

<b>Prove in sito</b>	n.
Sondaggi a carotaggio continuo	29 sino ad una prof. max di 45 m
Sondaggi a distruzione di nucleo	6 fino a una prof. max di 20 m
Prove in dinamiche in foro di sondaggio tipo SPT	138
Prove Lefranc	20
Prove di permeabilità su pozzo	2 campi pozzi
Indagine geofisica	1320 metri lineari
Piezometri	13
Piezometri per prove di pompaggio	6
Data logger <sup>2</sup>	4
Pozzetti esplorativi	74 per terre e rocce da scavo 6 ambientali
Campionamenti in alveo	5
<b>Prove in laboratorio</b>	
Prove di classificazione (contenuto naturale d'acqua, peso di volume, limiti di Atterberg e granulometria)	50
Prove di classificazione per sedimentazione	40
Prove di compressione a espansione laterale libera (ELL)	16
Prove di taglio diretto	8
Prove edometriche	8
Prove di colonna risonante e cicliche in cella triassiale	6

<sup>2</sup> Non oggetto dell'offerta

Analisi chimiche sui campioni rimaneggiati prelevati dalle trincee	74 per terre e rocce da scavo 4 su sola matrice acqua 12 ambientali
Prove di costipamento	20

## 2.2 Idrogeologia e geotecnica

Le misure di livello della falda rilevate nelle precedenti campagne di indagine in corrispondenza della cassa di espansione sono al momento sporadiche ed in numero inadeguato per poter effettuare valutazioni relative sia alla direzione locale del flusso idrico sotterraneo, sia alle possibili fluttuazioni del livello freatico in relazione alla realizzazione dell'opera in oggetto.

Al fine di meglio delineare le potenziali interferenze tra opera in progetto e falda che potrebbero determinare effetti negativi sull'ambiente idrico sotterraneo, ed in particolare sull'abbassamento atteso dei livelli di falda, è necessario integrare gli studi attualmente disponibili e redatti per le precedenti fasi progettuali attraverso le seguenti attività:

- installazione di strumenti (n. 4 data- logger<sup>3</sup>) per la misurazione in continuo del livello di falda in alcuni piezometri già realizzati presso la cassa di espansione al fine di identificare le modalità e i tempi di risposta della falda alle variazioni delle condizioni meteorologiche ed idrometriche del T. Baganza;
- realizzazione di n. 9 (SI1÷SI9) sondaggi a carotaggio continuo spinti sino a 20 m di profondità, con installazione di piezometri a tubo aperto, nell'intorno dell'area interessata dalla cassa di espansione al fine di ricostruire con il maggiore dettaglio possibile l'andamento e la morfologia della superficie freatica;
- installazione di impianti per la realizzazione di n. 2 campi prova a portata costante, con rilevazione degli abbassamenti nei pozzi in pompaggio e nei piezometri di controllo, ciascuno dei quali è costituito da n. 1 pozzo di prova e da n. 3 piezometri di controllo, per l'effettuazione di prove di pompaggio a portata costante finalizzate a valutare, con il maggiore dettaglio possibile, i parametri idrogeologici dell'acquifero che sarà interessato dall'intervento (trasmissività, conducibilità idraulica, porosità efficace, ecc.).

<sup>3</sup> Non oggetto dell'offerta



Inoltre, al fine di indagare in dettaglio le caratteristiche degli strati coesivi (caratterizzati in modo non sufficiente nel corso delle indagini svolte per il progetto preliminare) si prevedono le ulteriori prove seguenti:

- realizzazione di n. 4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti sino a 45 m di profondità dal p.c., anch'essi con installazione di piezometro, di cui SIG1 realizzato in corrispondenza del manufatto regolatore di valle, SIG2 in corrispondenza dell'argine di valle ed SIG3 e SIG4 in corrispondenza delle briglie nella zona a monte di imbocco della cassa. Nel corso dei sondaggi dovranno essere condotte; prove dinamiche in foro di sondaggio tipo SPT (*Standard Penetration Test*) ogni 2 m per un totale di 22 prove per sondaggio e prelevati campioni di terreno rimaneggiati in corrispondenza dei livelli incoerenti (in numero almeno pari a 5 campioni per sondaggio) ed indisturbati in corrispondenza di quelli coesivi (in numero almeno pari a 6 campioni per sondaggio) da sottoporre a prove di laboratorio, per definire le caratteristiche di compressibilità e resistenza dei livelli coesivi;
- n. 6 sondaggi geognostici (SMC1÷SMC6) a carotaggio continuo per la caratterizzazione del materiale proveniente dagli scavi e per la verifica della continuità dello strato argilloso che separa i due acquiferi, spinti sino a 10-25 m dal piano campagna e comunque fino alla profondità utile ad attraversare lo strato limo-argilloso, nel corso dei quali verranno prelevati campioni rimaneggiati (n. 3 per sondaggio) per le prove di classificazione in laboratorio;
- per l'acquifero è prevista un'indagine di tipo geofisico con tecnologia MASW 2D (elaborazione tomografica dei risultati di prove MASW 1D) di 1320 ml al fine di identificare la continuità dello strato di limoso argilloso che compartimenta, almeno a livello locale. L'indagine dovrà essere estesa in corrispondenza del rilevato di valle e in corrispondenza dei rilevati laterali. Tale indagine, oltre a permettere di verificare la continuità dello strato coesivo, consentirà di determinare l'andamento delle onde di taglio Vs30 ai fini dell'analisi di risposta sismica locale e di valutare i moduli dei terreni di fondazione alle piccole deformazioni.

Verranno successivamente eseguite prove di laboratorio sui campioni prelevati dai sondaggi SIG1, SIG2, SIG3 e SIG4 ed in particolare:

- sui campioni rimaneggiati: prove di classificazione granulometrica e limiti di Atterberg;
- sui campioni indisturbati: prove di classificazione granulometrica contenuto naturale d'acqua e limiti di Atterberg, prove di taglio diretto, prove edometriche e prove di compressione a espansione laterale libera. Inoltre, verranno eseguite prove di tipo dinamico n. 3 (complessivamente) ed in particolare prove di colonna risonante per determinare  $G_0$ , la legge di decadimento del modulo  $G$  con l'ampiezza delle deformazioni e l'andamento del rapporto di smorzamento  $D$  con l'ampiezza delle deformazioni. Infine, andranno condotte n. 3 (complessivamente) prove cicliche triassiali TXC finalizzate allo studio del comportamento post-ciclico della resistenza a rottura in condizione non drenate e della degradazione ciclica.

Inoltre si prevede di eseguire n. 10 sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti sino a 15 m di profondità a partire dalla sommità degli argini del T. Parma nel tratto a valle della città di Parma e sino alla confluenza in Po. Nel corso dei sondaggi dovranno essere eseguite prove SPT (n. 5 per sondaggio), prelevati campioni rimaneggiati (n. 4 per sondaggio) da sottoporre a prove di classificazione e condotte prove di permeabilità in foro di sondaggio tipo Lefranc (n. 2 per sondaggio).

A completamento delle indagini sarà eseguito il rilievo topografico dei punti di indagine realizzati, ed in particolare dei piani di riferimento di tutti i nuovi punti d'acqua (pozzi e piezometri) che saranno predisposti.

### **2.3 Determinazione della granulometria dell'alveo del T. Baganza**

Nell'ambito della progettazione definitiva della Cassa di Espansione del T. Baganza verrà implementato un modello numerico monodimensionale con fondo mobile, per simulare il trasporto solido all'interno dell'alveo del corso d'acqua. Il tratto indagato sarà indicativamente compreso tra Marzolaro e l'inizio dell'abitato di Parma, e si prevedono indicativamente n°5 campionamenti in posizioni che verranno stabilite più precisamente in fase esecutiva.

Poiché il trasporto dei sedimenti è basato sulle granulometrie di materiale presenti sul fondo, al modello occorre fornire la composizione granulometrica suddivisa in classi secondo una classica scala logaritmica di base 2 (Wentworth, 1922). In particolare, lo strato attivo al fondo può essere suddiviso in due sotto strati: uno più superficiale (di maggiore diametro che, pertanto, costituiscono una *corazza* per il substrato sottostante), e quello immediatamente inferiore (secondo *layer*).

La caratterizzazione dei sedimenti in alveo appena indicata richiede due differenti approcci metodologici.

### 2.3.1 *Campionamento dello strato superficiale*

Per il campionamento dello strato superficiale del materiale dovrà essere adottata una tecnica di tipo numerale: si identifica un'area di estensione limitata (1-10 mq) e si determina la relazione tra il diametro e la frequenza contando il numero di (tutte o una porzione) particelle appartenenti ad una certa classe diametrica. Per la misura delle dimensioni dei singoli granuli individuati si possono utilizzare piastre appositamente sagomate (gravelometer) o fare riferimento a tecniche di ripresa fotografica con successiva elaborazione delle immagini.

Questo ultimo metodo è più moderno ed è preferibile in quanto riduce il tempo di analisi in campo e permette successive elaborazioni via software. La risoluzione dell'immagine deve essere tale da comprendere all'interno dell'area del grano più piccolo che si vuole misurare un numero di pixels pari almeno a 23.

### 2.3.2 *Campionamento del substrato*

Per la stima della granulometria dello strato più profondo verrà utilizzato il classico metodo ponderale. Tale tecnica prevede il prelievo in alveo di una quantità di materiale sufficientemente rappresentativa della gamma granulometrica costituente il letto. In genere il peso totale del volume da prelevare viene definito in funzione del diametro del ciottolo di dimensioni maggiori secondo relazioni disponibili in letteratura.

Il prelievo va effettuato dopo aver rimosso lo strato superficiale, ovvero uno spessore di materiale corrispondente almeno alla massima dimensione sulla verticale censita per i massi appartenenti allo strato superiore. Il campione prelevato viene quindi sottoposto a setacciatura e classificazione in laboratorio secondo le UNI EN

933-1, ed EN 13383. Il campionamento potrà prevedere una classificazione preliminare in sito (con relativa pesata) per la frazione più grossolana.

## **2.4 Terre e rocce da scavo**

Essendo il Progetto Definitivo della cassa di espansione soggetto alla procedura di VIA, la normativa di riferimento da seguire per la corretta gestione delle terre e rocce da scavo derivanti dagli scavi è il Decreto del Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio e del Mare 10 agosto 2012, n. 161 - *Regolamento recante la disciplina dell'utilizzazione delle terre e rocce da scavo*.

Tale normativa prevede che il materiale da scavo derivante dall'intervento venga utilizzato in conformità ad un "*Piano di Utilizzo*", realizzato in ottemperanza a quanto previsto dall'Allegato 5 dello stesso decreto.

Al fine di poter definire il materiale da scavo come sottoprodotto (e quindi poter essere riutilizzato nell'ambito della procedura delle terre e rocce da scavo) è necessario che in fase di progettazione venga dimostrato che le concentrazioni di elementi e composti di cui alla tabella 4.1 dell'allegato 4 del D.M.161/2012 non superino le Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) di cui alle colonne A e B della tabella 1 dell'allegato 5 alla parte quarta del decreto legislativo n. 152 del 2006 e successive modificazioni, con riferimento alla specifica destinazione d'uso urbanistica del sito di produzione e del sito di destinazione.

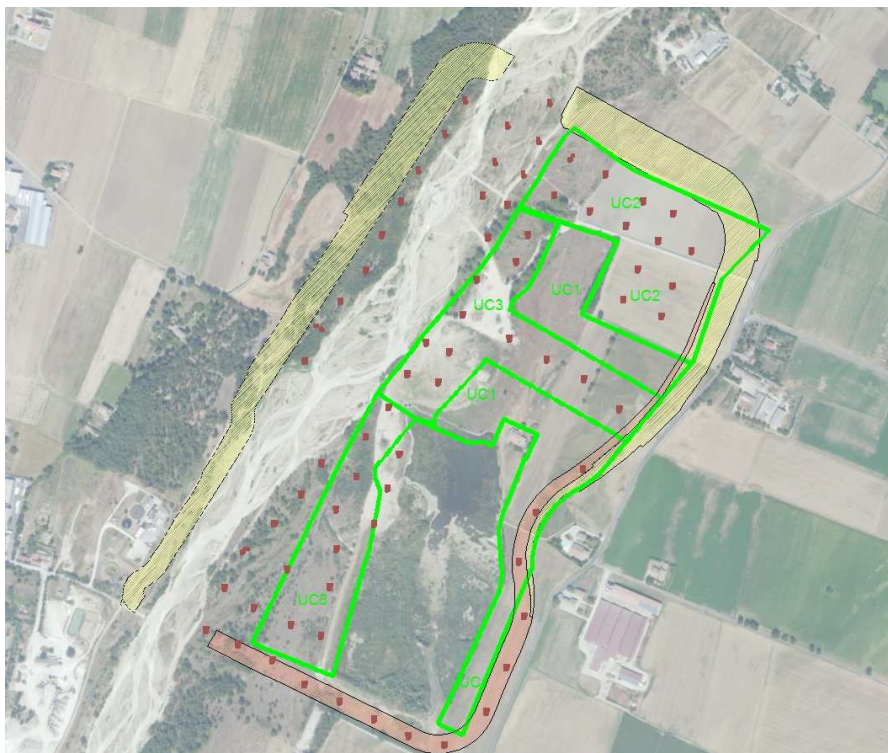
Il D.M. 161/2012 prevede che il numero dei punti di indagine sia proporzionale alle dimensioni planimetriche dell'area d'intervento, secondo il criterio esemplificativo riportato nella seguente tabella:

Dimensione dell'area	Punti di prelievo
Inferiore a 2.500 metri quadri	Minimo 3
Tra 2.500 e 10.000 metri quadri	3 + 1 ogni 2.500 metri quadri
Oltre i 10.000 metri quadri	7 + 1 ogni 5.000 metri quadri eccedenti

Considerando che l'estensione complessiva dell'area oggetto d'intervento è di circa 340.000 mq, seguendo il criterio stabilito dalla precedente tabella si prevede l'individuazione di n. 74 punti d'indagine (da eseguirsi con escavatore), ciascuno

dei quali con dimensione planimetrica media pari a circa 1,5 x 2 m e profondità 2 m.

Nella seguente figura sono indicati i punti di indagine; si evidenzia che le zone non interessate dalle indagini sono quelle afferenti l'attività estrattiva già effettuata e ripristinata zona umida e la cava UC4 in fase di autorizzazione, che verrà coltivata prima dell'avvio dei lavori della cassa di espansione.



**Figura 3** - Ubicazione punti di indagine per la caratterizzazione ambientale dei terreni di scavo

I campioni da portare in laboratorio o da destinare ad analisi in campo saranno privi della frazione maggiore di 2 cm (da scartare in campo) e le determinazioni analitiche in laboratorio saranno condotte sull'aliquota di granulometria inferiore a 2 mm. La concentrazione del campione dovrà essere determinata riferendosi alla totalità dei materiali secchi, comprensiva anche dello scheletro campionato (frazione compresa tra 2 cm e 2 mm).

Il Decreto Ministeriale prevedrebbe che, per ogni punto di indagine vengano prelevati i seguenti campioni da sottoporre ad analisi chimico-fisiche:

- campione 1: da 0 a 1 m dal piano campagna;



- campione 2: nella zona di fondo scavo;
- campione 3: nella zona intermedia tra i due.

In considerazione della significativa profondità degli scavi previsti per la realizzazione dell'opere e del fatto che la gran parte dei materiali da caratterizzare si trova 'sottofalda', in fase di progettazione si ritiene sufficiente prelevare solo i campioni superficiali (campione 1), demandando la caratterizzazione dei materiali più profondi alla fase esecutiva dell'opera, ai sensi dell'Allegato 8 del D.M. 161/2012.

Ai sensi dell'Allegato 4 del D.M. 161/2012, il set di parametri analitici che si propone di ricercare è il seguente: Arsenico, Cadmio, Cobalto, Nichel, Piombo, Rame, Zinco, Mercurio, Idrocarburi C>12, Cromo totale, Cromo VI, Amianto.

In considerazione del fatto che gli scavi interessano in gran parte la porzione satura del terreno si prevede anche l'acquisizione di n. 4 campioni di acque sotterranee dai piezometri esistenti.

Il set analitico da applicare per le acque di falda sarà il seguente: T, pH, Eh, Ossigeno disciolto, Conducibilità, Azoto ammoniacale, Nitrati, Solfati, Cloruri, Manganese, Alluminio, Arsenico, Cadmio, Cromo, Ferro, Mercurio, Nichel, Piombo, Rame, Zinco, Idrocarburi come n-esano, BTEX, Composti policiclici aromatici, Composti alifatici clorurati cancerogeni, Composti alifatici clorurati non cancerogeni, Composti alogenati cancerogeni.

La lista delle sostanze da ricercare potrà essere modificata qualora l'Autorità competente lo richieda.

Il prelievo e le analisi chimiche dovranno essere effettuati da Laboratori abilitati ed accreditati per le tipologie di analisi richieste.

Allo scopo di verificare l'idoneità del materiale di scavo per la commercializzazione o per l'utilizzo come materiali per la realizzazione degli argini, verranno prelevati n. 25 campioni rimaneggiati dalle trincee per la caratterizzazione ambientale delle terre e rocce da scavo (T1-T74).

Le trincee da cui prelevare i campioni saranno individuate su indicazione della D.L.



Su tali campioni rimaneggiati saranno effettuate prove di classificazione (prove granulometriche, contenuto naturale d'acqua e limiti di Atterberg) e prove di costipamento di tipo standard AASHTO per determinare il peso di volume massimo e il contenuto d'acqua ottimale.

## **2.5 Indagine preliminare ambientale della possibile 'Discarica incontrollata e/o abusiva di rifiuti solidi misti' censita nella Carta della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento - Alta e media pianura parmense'**

Il progetto preliminare della Cassa di laminazione sul T. Baganza nei Comuni di Collecchio, Parma e Sala Baganza (STB - Regione Emilia-Romagna 2004), individuava nella porzione sud-occidentale della Cassa una zona interessata da una discarica incontrollata e/o abusiva di rifiuti.



**Figura 4** Ubicazione punti di indagine per la caratterizzazione ambientale dei terreni di scavo

Al fine di caratterizzare preliminarmente l'area si propone la realizzazione di un'indagine ambientale preliminare consistente nell'esecuzione di n. 6 scavi esplorativi (TA01÷TA06) mediante utilizzo di escavatore spinti sino al raggiungimento della falda freatica (dimensione planimetrica media pari a 1,5 x 3 m, profondità 4 m).

Dagli scavi verranno prelevati n. 12 campioni composti di rifiuto (2 per trincea/pozzetto), sui quali effettuare le seguenti analisi:

- pH;
- Metalli (lista D.Lgs. 152/06 Tabella 1, Allegato 5, Titolo V, Parte quarta);
- Idrocarburi C<sub>≤12</sub> e C<sub>>12</sub>;
- Composti aromatici (BTEX + Stirene);
- Composti policiclici aromatici;
- Composti alifatici clorurati cancerogeni e non cancerogeni;
- Composti alifatici alogenati cancerogeni;
- TOC;
- Amianto.

La lista delle sostanze da ricercare potrà essere modificata qualora l'Autorità competente lo richieda.

Il prelievo e le analisi chimiche dovranno essere effettuati da Laboratori abilitati ed accreditati per le tipologie di analisi richieste.



**Figura 5** Ubicazione punti di indagine per la caratterizzazione della presunta discarica abusiva



### 3. CARATTERISTICHE TECNICHE

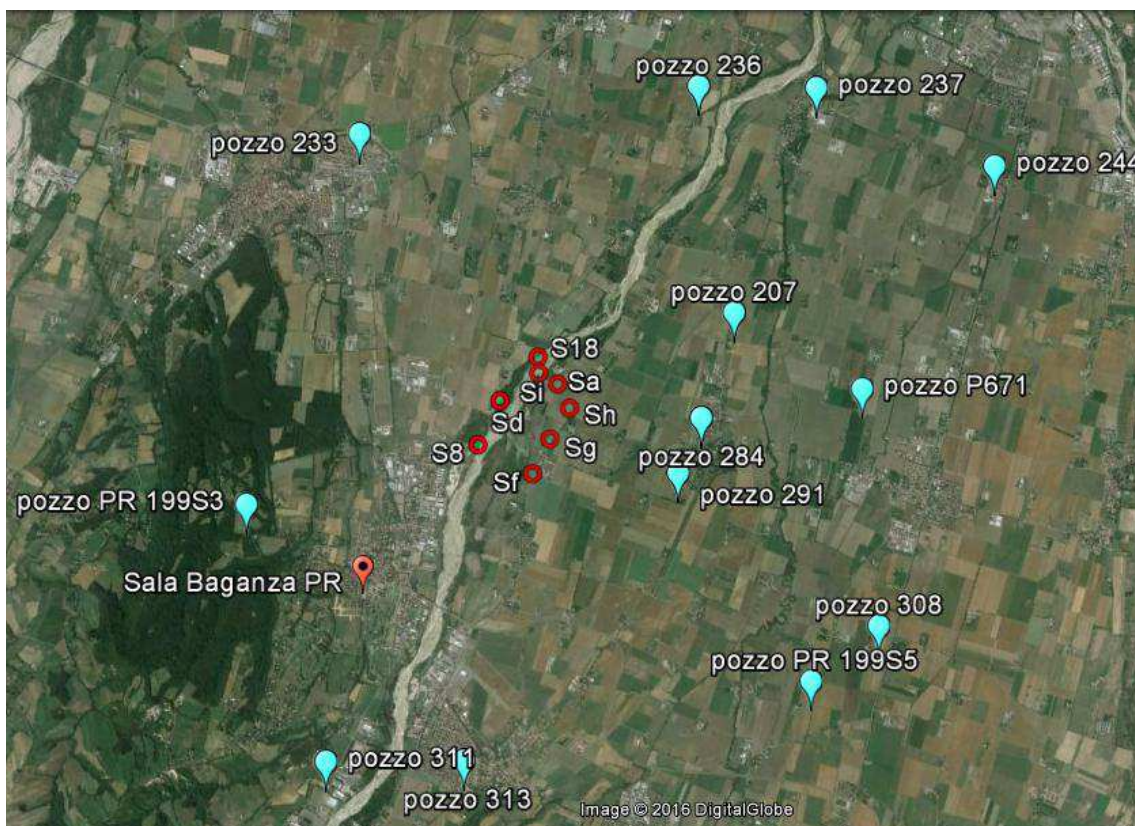
#### 3.1 Sondaggi a carotaggio continuo, prove in foro e installazione di piezometri

Le attività oggetto di affidamento sono le seguenti:

- perforazione di sondaggi a carotaggio continuo;
- prove in foro;
- messa in opera di piezometri;
- spurgo e sviluppo dei piezometri;
- smaltimento del materiale derivato dalla perforazione.

L'ubicazione dei nuovi piezometri terrà conto della distribuzione dell'attuale rete di controllo piezometrico della Provincia di Parma, oltre che della distribuzione dei piezometri tuttora esistenti nell'area della cassa di espansione.

L'ubicazione di punti di controllo della rete piezometrica della Provincia di Parma e dei piezometri esistenti presso l'area in oggetto è mostrata nella **Figura 6**.



**Figura 6** – ubicazione rete piezometrica Provincia di Parma (punti azzurri) e piezometri esistenti presso la cassa di espansione (cerchi rossi)

Nelle planimetrie allegate è riportata l'ubicazione di massima dei sondaggi a carotaggio continuo da attrezzare a piezometro, da realizzare nell'intorno della cassa di espansione, ubicazione che sarà da verificare nel dettaglio a seguito di appositi sopralluoghi da eseguire in sito.

### 3.1.1 *Esecuzione di sondaggi a carotaggio continuo*

Come descritto nei paragrafi precedenti verranno eseguiti n. 13 sondaggi da realizzare sino a profondità comprese tra 20 e 45 m dal piano di campagna per una caratterizzazione idrogeologica e geotecnica dell'area, n. 6 a profondità di 10 p.c. per la caratterizzazione del materiale proveniente dagli scavi e n. 10 da eseguire lungo le arginature del Torrente Parma (dalla città di Parma fino alla confluenza in Po) spinti a profondità 15 dalla sommità.

I sondaggi dovranno prevedere:

- la descrizione stratigrafica;
- la misura del livello piezometrico della falda;
- annotazione ed osservazione sulle problematiche incontrate in avanzamento (incagli, perdite di fluido di circolazione, etc.).

#### Attrezzature di perforazione

Si dovrà utilizzare una sonda a rotazione con testa idraulica. Il corredo della sonda dovrà essere completo di tutti gli accessori necessari per l'esecuzione del lavoro a norma di specifica e degli utensili per la riparazione dei guasti di ordinaria entità. La pompa di circolazione fluidi dovrà essere dotata di un circuito supplementare per il rabbocco a testa foro.

#### Utensili di perforazione

Carotiere semplice con valvola in testa a sfera a calice, con diametro nominale esterno di almeno 101 mm, lunghezza utile di 150-300 cm, corone di perforazione in Widia, corone diamantate, aste di perforazione con filettatura tronco conica del diametro nominale esterno di almeno 60 mm;

La necessità di impiego del rivestimento provvisorio è da verificarsi caso per caso, in relazione alle reali caratteristiche del terreno.

Nel caso di utilizzo di rivestimenti associati alla perforazione ad aste, essi saranno in acciaio, con le seguenti caratteristiche: spessore del tubo 8-10 mm; diametro interno di almeno 107 mm; lunghezza spezzoni di 150-200 cm.

L'Affidatario comunque potrà proporre l'impiego di rivestimenti con diverse caratteristiche in relazione al tipo di attrezzatura di perforazione prescelta, subordinandone l'uso alla preventiva autorizzazione da parte della Direzione Lavori.

#### Strumenti di controllo e prova

Scandaglio a filo graduato, per la misura della quota di fondo foro raggiunta dalla perforazione; sondina piezometrica elettrica centimetrata di lunghezza adeguata alle perforazioni previste.

Gli utensili sopra elencati dovranno essere sempre e continuamente disponibili in cantiere.

#### Modalità esecutive

Il sondaggio geotecnico dovrà essere eseguito come di seguito specificato:

##### a) Carotaggio

Il carotaggio dovrà essere integrale e rappresentativo dei terreni attraversati, con percentuale di recupero > 90%.

##### b) Rivestimento provvisorio

La perforazione sarà seguita dal rivestimento provvisorio solo in assenza di sufficiente autosostentamento delle pareti del foro. Le manovre di rivestimento possono essere eseguite con l'uso di fluido in circolazione, curando che la pressione dei fluidi sia la minore possibile e controllandola mediante manometro. Il disturbo arrecato al terreno deve essere contenuto al minimo, fermando se necessario la scarpa del rivestimento a circa 50 cm dal fondo foro.

##### c) Stabilità a fondo foro

La stabilità del fondo foro sarà assicurata in ogni fase della lavorazione con particolare attenzione nei casi in cui il terreno necessiti di rivestimento provvisorio e durante l'estrazione del carotiere e delle aste, che deve avvenire con velocità

iniziale molto bassa (1÷2 cm/s) ed essere eventualmente intervallata da pause di attesa per il ristabilimento della pressione idrostatica del fluido sul fondo foro.

d) Pulizia del fondo foro

La quota del fondo foro sarà misurata con scandaglio a filo graduato prima di ogni eventuale manovra di prelievo di campioni, di SPT o di altre prove in foro.

Fluidi di circolazione

L'uso di fluido di circolazione nelle fasi di perforazione dovrà essere preventivamente approvato dalla D.L e potrà unicamente essere costituito da acqua o di fanghi polimerici purché biodegradabili in 72 ore.

L'uso di fluidi diversi da quelli sopra elencati è subordinato alla preventiva approvazione da parte della Direzione Lavori.

Rilievo stratigrafico

La stratigrafia del sondaggio sarà redatta dal geologo senior di cantiere mano a mano che le operazioni di perforazione saranno eseguite.

Nei log stratigrafici dovranno essere indicati sempre i seguenti dati:

- data di perforazione;
- nome del compilatore;
- metodo di perforazione;
- attrezzature impiegate;
- diametro di perforazione;
- diametro di rivestimento;
- tipo di fluido di circolazione impiegato.

Descrizione stratigrafica

La descrizione stratigrafica dovrà comprendere:

- tipo di terreno (granulometria e grado di arrotondamento dei clasti, secondo le Raccomandazioni AGI, 1977);
- condizioni di umidità naturale;
- compattezza (consistenza o addensamento);



- alterazione;
- colore;
- struttura;
- particolarità;
- litologia ed origine;
- percentuale di recupero.

### Cassette catalogatrici e documentazione fotografica

Le carote estratte nel corso della perforazione saranno sistemate in apposite cassette catalogatrici munite di setti divisori e coperchio, che consentano la conservazione di 5 m di carotaggio. Le cassette catalogatrici potranno essere di materiali diversi come legno, metallo o plastica, a patto che siano sufficientemente robuste da poter essere impilate una sull'altra per il loro immagazzinamento senza esserne danneggiate.

Le singole cassette verranno fotografate non appena completate. Dovrà essere assicurata la completa leggibilità di tutte le annotazioni riportate sulla cassetta ed una visione chiara delle carote contenute. Le fotografie a colori dovranno essere allegate alla documentazione definitiva del sondaggio nel numero di copie richiesto dalla Direzione Lavori.

Le cassette catalogatrici dovranno essere conservate in spazi idonei, fino al termine del procedimento, al fine di consentire eventuali campionamenti supplementari per determinazioni analitiche integrative; alla chiusura del procedimento le cassette dovranno essere consegnate in luogo che verrà precisato dalla DL in fase esecutiva.

I materiali derivanti dalle attività svolte dovranno essere smaltiti secondo la normativa vigente in materia; si intendono a carico dell'Affidatario gli oneri relativi alla gestione e smaltimento dei materiali.

### Rilievo della falda

Nel corso della perforazione verrà rilevato in maniera sistematica il livello dell'acqua nel foro. Le misure saranno eseguite in particolare ogni mattina, prima di riprendere il lavoro, con annotazione di quanto segue:

- profondità del livello dell'acqua rispetto a p.c.;
- quota del fondo foro;
- quota della scarpa del rivestimento;
- data e ora della misura.

Tali informazioni dovranno comparire anche nella documentazione definitiva del lavoro.

### Prove SPT

La prova consiste nella infissione a percussione, secondo una procedura standardizzata, di un campionatore a pareti grosse di dimensioni standard nel fondo di un foro di sondaggio in presenza di strati limo-argillosi o di una punta conica standard in presenza di strati ghiaiosi e nella registrazione dei colpi necessari per una penetrazione di 45 cm ( $N_{SPT}$ ).

Le norme di riferimento sono le seguenti

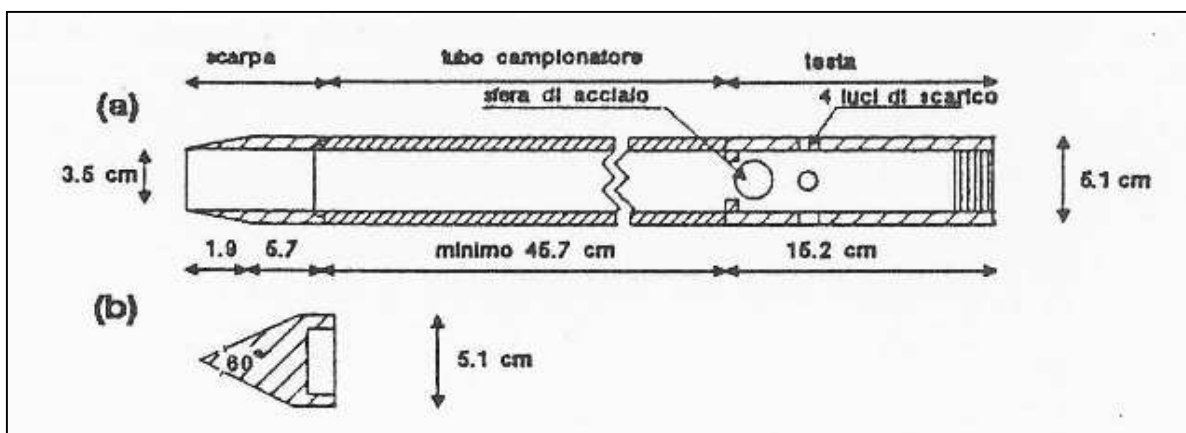
- ASTM D 1586-84 (1992) - Standard Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils
- A.G.I. (1977) - Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche

### *Caratteristiche delle attrezzature*

#### *Campionatore*

Il tubo campionatore in acciaio, apribile longitudinalmente, avrà le seguenti dimensioni: diametro esterno  $51 \pm 1$  mm, diametro interno di  $35 \pm 1$  mm, lunghezza (esclusa la scarpa tagliente terminale) di 457 mm. La scarpa terminale, rastremata a tagliente negli ultimi 19 mm per favorire la penetrazione, dovrà avere una lunghezza di  $76 \pm 1$  mm e diametri (interno ed esterno) identici a quelli del campionatore. Il campionatore inoltre dovrà essere dotato nella parte superiore di una valvola a sfera e di aperture di scarico (sfianti) per permettere la fuoriuscita di aria, acqua o fango durante l'infissione. La valvola dovrà essere a tenuta d'acqua nella fase di estrazione del campionatore.

Nei terreni ghiaiosi la scarpa del carotiere verrà sostituita da una punta conica di diametro esterno 51 mm ed angolo di  $60^\circ$ .



### Aste

Verranno usate aste di diametro non inferiore a 50 mm e di peso per metro lineare pari a  $7 \pm 0.5$  Kg/m.

Le aste dovranno essere dritte, ben avvitate in corrispondenza dei giunti e con flessione totale della batteria pronta per la prova  $< 1\%$ .

### Dispositivo di battitura

Il dispositivo di battitura, che dovrà avere un peso totale non superiore a 115 kg, dovrà comprendere:

- la testa di battuta in acciaio, che dovrà essere strettamente avvitata all'estremità della batteria di aste;
- il maglio (o massa battente) di acciaio, del peso di  $63.5 \pm 0.5$  kg;
- il dispositivo di guida e rilascio del maglio a sganciamento automatico, che deve consentire al maglio una caduta libera di  $760 \pm 20$  mm, guidata ma con attriti trascurabili.

### Modalità esecutive

La prova si esegue infiggendo a fondo foro il campionatore per due tratti consecutivi, il primo da 150 mm e il secondo da 300 mm, annotando il numero di colpi necessario per la penetrazione. La successione delle operazioni è la seguente:

- controllare con lo scandaglio la quota del fondo foro confrontandola con quella raggiunta con la manovra di perforazione o di pulizia precedentemente fatta; può risultare dal controllo che la quota misurata sia più alta del fondo del foro,

per effetto dei rifluimenti o per decantazione di detriti in sospensione nel fluido; se tale differenza supera 7 cm la prova non può essere eseguita e si deve procedere ad una nuova pulizia del foro;

- procedere alla infissione preliminare di 150 mm contando ed annotando il numero di colpi del maglio, fino ad un massimo di 50 colpi;
- procedere alla infissione del tratto di 300 mm contando ed annotando separatamente il numero di colpi relativi ai primi 150 mm ed ai secondi 150 mm fino ad un massimo di 100 colpi complessivi; il rifiuto si considera raggiunto quando, dopo l'infissione preliminare, che è pari a 150 mm o 50 colpi, si ottengono 100 colpi per un avanzamento minore od uguale a 300 mm; nel caso di rifiuto, si dovrà annotare la lunghezza di infissione corrispondente ai 100 colpi (in cm); la frequenza di battitura in tutte le fasi della prova non deve essere superiore a 30 colpi al minuto;
- ad estrazione avvenuta, aprire il campionatore, misurare e descrivere il campione prelevato, trascurando l'eventuale parte alta costituita da detriti, e quindi sigillarlo in un contenitore cilindrico a tenuta d'aria (sacchetto o barattolo di plastica).

A ciascun contenitore andrà fissata un'etichetta contenente le seguenti informazioni:

- cantiere;
- n° del sondaggio;
- n° del campione;
- profondità della prova;
- lunghezza del campione;
- data della prova;
- n° di colpi per ogni singolo tratto di 15 cm.

### *Documentazione*

La documentazione dovrà comprendere, per ciascuna prova eseguita ad una determinata profondità, le seguenti informazioni:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore)
- n° del sondaggio;
- metodo di perforazione;
- diametro delle aste;
- diametro del rivestimento;
- profondità della base del rivestimento;
- profondità raggiunta con la manovra di perforazione e pulizia;
- profondità di inizio della prova;
- penetrazione iniziale per peso proprio delle aste e del campionatore;
- numero dei colpi per ciascun tratto di 15 cm;
- lunghezza e descrizione geotecnica del campione estratto;
- osservazioni e note eventuali.

#### Prelievo di campioni indisturbati

Le modalità di campionamento possono prevedere il prelievo dei seguenti tipi di campione:

- a) "*rimaneggiato*" se prelevato dal materiale riposto nella cassetta catalogatrice;
- b) "*indisturbato*", se prelevato con apposito campionatore.

I campioni tipo a) devono assicurare una rappresentazione veridica della distribuzione granulometrica del terreno; i campioni tipo b) non devono subire deformazioni strutturali rilevanti conservando inalterate le seguenti caratteristiche:

- contenuto d'acqua (solo per campioni indisturbati in terreni coesivi);
- peso di volume;
- deformabilità;
- resistenza al taglio.

Di seguito vengono illustrate le classi di qualità dei campioni ottenibili con diverse tipologie di campionatori:

TIPO DI TERRENO	TIPO DI CAMPIONATORE ①				
	A	B	C	D	E

a) coerenti poco consistenti		Q 3	Q 4	Q 5	
b) coerenti moderatamente consistenti o consistenti	Q 3 (4)	Q 4	Q 5	Q 5	
c) coerenti molto consistenti	Q 2 (3)	Q 3 (4)	Q 4 (5)		Q 5
d) sabbie fini al di sopra della falda	Q 2	Q 3	Q 3	Q 3 (4)	
e) sabbie fini in falda	Q 1	Q 2	Q 2	Q 2 (3)	
<b>❶</b> A) Campionatore pesante infisso a percussione B) Campionatore a parete sottile infisso a percussione C) Campionatore a parete sottile infisso a pressione D) Campionatore a pistone infisso a pressione E) Campionatore a rotazione a doppia parete con scarpa avanzata <i>N.B.: Si indicano tra parentesi le classi di qualità Q raggiungibili con campionamento molto accurato</i>					

#### *Campionatore a pareti sottili (tipo Shelby)*

È composto da una testa con valvola a sfera e relativi sfiati a cui è collegato il tubo di infissione che funge da contenitore del campione di terreno. Lo spessore di tale tubo può variare normalmente da 2 a 3 mm. La pressione per l'infissione del campionatore viene esercitata attraverso le aste di manovra per mezzo della slitta di avanzamento della sonda. La testa del campionatore, per una lunghezza di circa 15 cm, subito al di sotto della valvola e fino all' attacco per il tubo portacampione, è di diametro prossimo a quello del tubo stesso per consentire al materiale disturbato, eventualmente presente a fondo foro, di entrarvi, e quindi di ridurre la possibilità di "disturbare" il campione.

#### *Campionatore a pistone (tipo Osterberg)*

Si tratta di un campionatore a pistone ad azionamento idraulico. Il pistone tiene chiusa l'estremità della fustella fino alla profondità in cui si desidera iniziare il prelevamento, e vi viene mantenuto mentre la fustella continua a penetrare nel terreno. Il pistone agisce quindi nel primo tratto impedendo la penetrazione del materiale rimaneggiato nella fustella, ed evitando di conseguenza che l'altezza del campione all' interno di quest' ultima sia superiore alla penetrazione della fustella nel terreno, e nel secondo tratto in maniera da impedire il distacco della faccia superiore del campione dove altrimenti si creerebbe il vuoto.



### *Operazioni preliminari*

Il prelievo di campioni "indisturbati" sarà preceduto, a seconda dei casi, da alcune delle seguenti operazioni e accorgimenti:

- ancoraggio dell'attrezzatura di spinta (sonda), se di peso leggero, al terreno;
- perforazione fino alla quota di inizio prelievo;
- stabilizzazione delle pareti e del fondo foro con rivestimenti metallici provvisori e/o fluidi di perforazione di idonea densità e tenendo il carico d'acqua più elevato possibile;
- evitare manovre di inserimento ed estrazione della batteria di perforazione troppo veloci, al fine di ridurre l'effetto di compressione e risucchio;
- evitare picchi di pressione nell'infissione dei rivestimenti metallici provvisori o nella eventuale perforazione a distruzione di nucleo;
- controllare che la quota di infissione dei rivestimenti sia leggermente minore di quella di inizio prelievo;
- riduzione al minimo dell'intervallo di tempo tra il termine della perforazione e l'inizio del campionamento;
- controllare la profondità di campionamento con le aste o apposito scandaglio. Qualora si accerti la presenza a fondo foro di detriti per uno spessore >15 cm occorrerà procedere alla operazione di pulizia che andrà eseguita a secco con carotiere corto eventualmente munito di corona con elica o con estrattore a cestello. L'operazione di pulizia potrà essere eseguita anche con scalpello a fori radiali e calice di raccolta dei detriti.

### *Modalità di campionamento*

Per un campionamento ottimale saranno previste le seguenti fasi:

- perforazione a carotaggio o a distruzione di nucleo fino alla quota prevista per l'inizio del campionamento;
- avanzamento della colonna di rivestimento con circolazione di fango o acqua, fino ad una quota di poco superiore a quella prevista per l'inizio del campionamento ( $\approx 10$  cm, max 40 cm);

- avanzamento a secco per circa 30 cm fino a fermarsi con la scarpa del rivestimento ad una quota di circa 10 cm superiore a quella di inizio campionamento (eventuale nel caso di terreni "sensibili");
- controllo della profondità del fondo foro con lo scandaglio o le aste;
- esecuzione di una manovra di pulizia, con carotiere corto a secco, qualora risulti che tale profondità differisca di più di 15 cm con quella di inizio prelievo;
- discesa in foro delle aste con il campionatore;
- controllo della profondità a cui il campionatore si ferma a fondo foro; tale valore non deve differire più di 15 cm con quello misurato in precedenza. Se la batteria si arresta ad una quota superiore di 15 cm occorre rifare la pulizia;
- prima di iniziare il campionamento, sull'asta sporgente in superficie, si dovrà tracciare un segno ad una distanza, da un punto di riferimento (es. rivestimento metallico, o freno idraulico, o un picchetto) pari a quella dell'avanzamento utile della fustella portacampione, generalmente 60 cm; nel caso di campionatori ad azionamento idraulico, tale operazione non sarà necessaria;
- esecuzione del campionamento vero e proprio imprimendo, nel caso di campioni a pressione, la spinta necessaria per ottenere un avanzamento regolare e veloce; l'avanzamento dovrà essere arrestato quando il segno praticato sull'asta viene a coincidere con il riferimento scelto;
- qualora non si riesca a infiggere il campionatore a pressione per un tratto pari alla lunghezza del tubo di prelievo l'infissione verrà sospesa annotando la misura dell'avanzamento effettivo;
- terminato l'avanzamento del tubo di prelievo, si estrarranno le aste con il campionatore.

### *Classificazione e registrazione dei campioni*

Dopo il prelievo, i campioni saranno misurati, puliti sulle superfici, descritti in stratigrafia, saggiati con il "*pocket penetrometer*" e il "*torvane*", sigillati con uno strato di paraffina fusa e coperchi rigidi con nastro adesivo o tappi ad espansione, riempiendo lo spazio tra paraffina e coperchi con sabbia umida.

I campioni dovranno essere contraddistinti da etichette inalterabili che indichino:

- cantiere e sito di indagine;
- data di prelievo;
- numero del sondaggio;
- numero del campione;
- profondità di inizio e fine prelievo;
- tipo di campionatore impiegato;
- parte alta del campione.

Sulla stratigrafia, relativamente ad ogni prelievo (anche nel caso di prelievi non riusciti), dovranno essere riportate le seguenti informazioni:

- lunghezza della manovra di prelievo;
- lunghezza del campione dopo la pulizia effettuata alle due estremità;
- classificazione del terreno che si rinviene alle due estremità;
- misure di consistenza rilevate con "pocket penetrometer" e "torvane";
- eventuali motivazioni per il non avvenuto campionamento (parziale o totale).

#### *Imballaggio e trasporto dei campioni*

I campioni destinati al laboratorio devono essere sistemati in casse con adeguati separatori ed imbottiture alle estremità, onde assorbire le inevitabili vibrazioni dovute al trasporto.

Le cassette andranno collocate in un locale idoneo a proteggerle dal sole o dalle intemperie fino al momento della spedizione e consegnate entro 24 ore dal prelievo dei campioni al laboratorio geotecnico.

Le cassette dovranno contenere un massimo di 6 fustelle, onde facilitarne il maneggio, e saranno dotate di coperchio e maniglie; sul coperchio si indicherà la parte alta.

### **3.1.2 Installazione di piezometro a tubo aperto**

Per la definizione e il monitoraggio nel tempo del livello piezometrico saranno installati n. 13 piezometri per il controllo della falda.

Ognuno dei carotaggi dovrà pertanto essere attrezzato a piezometro inserendo un tubo piezometrico fino a una profondità che potrà essere pari a quella massima

raggiunta (20-45 m) o stabilita dalla DL a profondità inferiore in funzione della litologia del sottosuolo.

In linea generale si prevede di realizzare n. 9 piezometri aventi profondità indicativa di 20 m fenestrati nella falda freatica, n. 4 piezometri aventi profondità indicativa di 45 m captanti la sola falda semi-confinata.

Il rivestimento definitivo, in PVC, certificato dal produttore, dovrà presentare:

- diametro nominale di 2-3”;
- pressione nominale PN6;
- punti di giunzione (maschi e femmina) filettati sullo spessore, lavati e sigillati senza uso di collanti e senza trucioli;
- eventuali sigillature fatte con nastro di teflon.

La parte filtrante dovrà essere costituita sempre da tubo in PVC, certificato dal produttore, del diametro nominale DN 2-3” filettati M/F sullo spessore, privi di trucioli, lavati e sigillati con tappo di fondo.

Essa dovrà essere fenestrata conformemente alla tipologia del piezometro: per i piezometri captanti la falda freatica dalla quota di circa - 3 m da p.c. fino alla massima profondità o conformemente a quanto stabilito dalla DL in funzione della litologia del sottosuolo; per i piezometri captanti la sola falda semi-confinata il tratto fenestrato dovrà essere posato dalla base del livello argilloso di separazione fino alla massima profondità del piezometro.

Nei piezometri captanti la falda freatica dovranno essere installate tubazioni del diametro di 3”, mentre in quelli captanti la sottostante falda semi-confinata la tubazione potrà essere di 2”, ciò affinché possa essere consentita un’adeguata separazione tra le falde mediante riempimento dell’intercapedine con argille fortemente rigonfianti o con boiaccia di cemento in corrispondenza dei livelli coesivi di separazione.

Durante la posa in opera della tubazione il personale addetto alle operazioni di assemblaggio dovrà prendere precauzioni per assicurare che grasso, olio o altri contaminanti non entrino in contatto con la tubazione in fase di posa.

L’installazione del piezometro dovrà prevedere anche la posa in opera di materiale drenante, l’argillificazione, la cementazione, lo spurgo e la protezione della sommità del piezometro.

Nei piezometri captanti la falda freatica le operazioni di posa in opera del dreno dovranno essere effettuate da fondo foro fino a circa -2 m da p.c. utilizzando ghiaietto siliceo.

La cementazione dell'intercapedine tra perforo e tubazione è prevista dei primi 2 m, utilizzando bentonite e boiacca di cemento.

Nei piezometri captanti la falda semi-confinata le operazioni di posa del dreno dovranno essere effettuate in corrispondenza del tratto fenestrato.

La cementazione/argillificazione dell'intercapedine tra perforo e tubazione dovrà essere eseguita in corrispondenza del livello limoso-argilloso di separazione (con argilla fortemente rigonfiante o boiacca di cemento iniettata con tubo guida inserito nell'intercapedine) e nei primi 2 m di sottosuolo con boiacca di cemento. La restante porzione di intercapedine in corrispondenza del tubo cieco potrà essere anch'essa riempita con dreno siliceo.

Al termine della cementazione il piezometro dovrà essere spurgato utilizzando un'elettropompa sommersa sino a completa chiarificazione dell'acqua.

I piezometri dovranno essere realizzati in modo da evitare danneggiamenti e contaminazioni.

La loro testa dovrà essere dotata di apposito sistema di chiusura ermetica e di sicurezza.

La testa dovrà essere protetta da tombino in calcestruzzo con chiusino carrabile in ghisa in sommità ed alla medesima quota del circostante piano campagna.

La testa pozzo dovrà essere dotata di chiusura con lucchetto.

### Caratteristiche della strumentazione

La strumentazione da installare nel foro dovrà essere costituita da un tubo piezometrico in PVC, di diametro interno di 2" o 3", costituito da una serie di spezzoni ciechi e filtranti di lunghezza variabile tra 1.5 e 3 m; gli spezzoni filtranti del tubo saranno fenestrati orizzontalmente; i diversi spezzoni di tubo dovranno essere giuntati attraverso appositi manicotti filettati.

### Preparazione del foro

La perforazione del foro di sondaggio in cui andrà installato il piezometro dovrà essere eseguita utilizzando, come fluido di circolazione, acqua pulita oppure, previa autorizzazione della D.L., fango a polimeri degradabili. In nessun caso è permesso l'uso di fango bentonitico. Se il piezometro non deve essere posato a fondo foro, il foro dovrà essere riempito, ritirando man mano il rivestimento, fino alla quota di installazione, con una miscela acqua cemento o con argilla rigonfiante.

### Installazione

L'installazione seguirà le seguenti fasi:

- discesa a quota del tubo piezometrico, precedentemente assemblato secondo la sequenza di tratti ciechi e fenestrati prevista dal progetto delle indagini o dalla Direzione Lavori; i singoli spezzoni di tubo dovranno essere collegati tra loro mediante appositi manicotti di giunzione, opportunamente sigillati; lo spezzone di piezometro più profondo dovrà essere chiuso con apposito tappo di fondo;
- posa di dreno in ghiaietto siliceo ove previsto ritirando sempre man mano il rivestimento;
- posa dello strato di argillificazione ove previsto da realizzare con argilla fortemente rigonfiante o con boiaccia di cemento da iniettare con tubo guida inserito nell'intercapedine;
- cementazione superficiale da -2 a p.c. con boiaccia di cemento;
- la testa del tubo piezometrico dovrà essere dotata di un tappo munito di lucchetto con chiusura a tenuta idraulica e dovrà essere protetta da un pozzetto di superficie che potrà essere in calcestruzzo con coperchio carrabile a livello del p.c., nel caso in cui il pozzo di estrazione sia installato in un'area di transito di veicoli o persone, oppure in metallo, con emergenza fuori terra e dotato di chiusura a lucchetto, nel caso in cui il pozzo di estrazione sia installato in un'area non di transito;
- sul pozzetto e sul tappo dovrà essere indicato il codice identificativo del piezometro;



- al termine dell'installazione, in tutti i piezometri si procederà allo sviluppo e allo spurgo mediante pompa sommersa fino ad ottenimento di acqua limpida priva di particelle in sospensione.

### Documentazione

La documentazione dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- tipo e schema di installazione nel foro del tubo piezometrico;
- quota assoluta o relativa dell'estremità superiore del chiusino di protezione.

### 3.1.3 Prove di Laboratorio<sup>4</sup>

#### 3.1.3.1.1 Apertura e descrizione geotecnica di campioni indisturbati

Campioni indisturbati alloggiati in fustelle cilindriche

L'estrusione dalle fustelle di alloggiamento dovrà avvenire in modo da minimizzare il disturbo arrecato al campione: a tale proposito è consigliato l'utilizzo di un estrusore idraulico. In ogni caso l'estrusione dovrà avvenire con lentezza e continuità, evitando l'applicazione di sforzi eccessivi o l'esecuzione di brusche manovre.

Dopo l'estrusione il campione sarà sottoposto a scotatura e ripulitura delle estremità e si procederà alla descrizione geotecnica visivo-manuale del materiale campionato indicando natura, colore, strutture, inclusioni, frammenti di conchiglie, resti organici, eventuale odore ed ogni altro elemento ritenuto significativo. La descrizione geotecnica visivo-manuale dovrà essere condotta in accordo allo standard ASTM D2488-93 (Standard Practice for Description and Identification of Soils - Visual-Manual Procedure).

Si effettuerà quindi una ripresa fotografica a colori del campione avendo cura che l'immagine risulti nitida e chiaramente leggibile; la foto comprenderà anche una scala colorimetrica e una scala metrica di riferimento e riporterà la completa iden-

---

<sup>4</sup> Da eseguire a cura di Laboratori certificati di cui all'art. 59 del DPR 6 giugno 2001 n. 380

tificazione del campione e del suo alto.

Successivamente si procederà ove possibile alla esecuzione di prove speditive con penetrometro e scissometro tascabile ad intervalli regolari per la determinazione dello stato di consistenza del materiale campionato.

Da ultimo si procederà alla selezione delle porzioni del campione da sottoporre a prova, avendo particolare cura di escludere dal confezionamento dei provini da sottoporre a prova le porzioni disturbate per rammollimento o deformazione eccessiva, e di scegliere porzioni omogenee del campione per l'esecuzione di prove che richiedano la preparazione di una serie di provini.

Nella scelta delle porzioni di campione da sottoporre a prova assume particolare rilevanza la valutazione dello stato di qualità del campione che dovrà in ogni caso essere indicata.

Al termine dell'esame sarà redatto un apposito modulo contenente tutte le osservazioni e misure condotte, l'indicazione delle prove da eseguire e dei relativi provini, indicazioni sullo stato di qualità del campione e della fustella, le dimensioni del campione estruso. Il modulo sarà corredato dalla documentazione fotografica del campione.

#### 3.1.3.1.2 Apertura e descrizione geotecnica di campioni rimaneggiati

L'estrazione del campione rimaneggiato dal contenitore di alloggiamento (sacchetto, barattolo, vasetto, etc.) sarà seguita dalla descrizione geotecnica visivo-manuale del materiale condotta in accordo allo standard ASTM D2488-93 (Standard Practice for Description and Identification of Soils - Visual-Manual Procedure). Al termine delle operazioni si procederà alla redazione di un modulo contenente la descrizione geotecnica del campione, l'indicazione delle prove da eseguire e l'eventuale documentazione fotografica.

#### 3.1.3.1.3 Determinazione del contenuto naturale d'acqua

##### Generalità

La prova consiste nella determinazione del contenuto d'acqua di terreni, rocce e materiali simili.

Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 2216 - 92 - Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock.
- CNR UNI 10008 – Prove sui materiali stradali – Umidità di una terra.

#### Modalità di prova

La determinazione del contenuto naturale d'acqua, ottenuto per differenza tra peso del campione umido e peso del campione essiccato in forno termostato a 100-110°C ed espresso in percentuale rispetto al peso del campione essiccato, dovrà essere effettuata su almeno due provini prelevati da campioni o porzioni di campioni che non abbiano subito significative variazioni di umidità (rammolliti o essiccati) rispetto alle condizioni naturali.

#### Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- valore percentuale del contenuto d'acqua;
- note sulla eventuale disomogeneità del campione ed indicazione della porzione a cui si riferisce la determinazione;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia, termostato) di data non anteriore di sei mesi alla data di prova.

#### 3.1.3.1.4 Determinazione della massa volumica apparente (peso dell'unità di volume naturale)

##### Generalità

La prova consiste nella determinazione della massa volumica apparente di un terreno, ottenuto come rapporto tra la massa di un provino di terreno allo stato naturale ed il suo volume.

##### Normative e specifiche di riferimento

- BS 1377 (1990) - Methods of test for soils for civil engineering purposes - Part 2: Classification tests

### Modalità di prova

La prova dovrà essere effettuata unicamente su provini indisturbati, avendo cura di non alterare in alcun modo le caratteristiche del campione durante il confezionamento del provino.

Per il confezionamento dei provini dovrà di norma essere impiegato un apposito tornietto da laboratorio, al fine di minimizzare il disturbo al campione; l'uso del tornietto potrà essere evitato per terreni a bassa consistenza, per i quali è possibile l'infissione a pressione di una fustella tarata mediante l'impiego di un idoneo campionatore.

In nessun caso la fustella sarà infissa manualmente nel terreno da campionare.

### Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- risultato della determinazione espresso in unità SI [Mg/m<sup>3</sup>] con definizione della seconda cifra decimale;
- note sulla eventuale disomogeneità del campione ed indicazione della porzione a cui si riferisce la determinazione;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia) di data non anteriore di sei mesi alla data di prova.

#### 3.1.3.1.5 Determinazione dei limiti di consistenza

##### Generalità

La prova consiste nella determinazione del contenuto d'acqua per il quale avviene il passaggio dallo stato semiliquido allo stato plastico (limite di liquidità) e dallo stato plastico allo stato semisolido (limite di plasticità).

Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 4318 - 84 - Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.
- CNR UNI 10014 – Prove sulle terre – Determinazione dei limiti di consistenza (o di Atterberg) di una terra.

### Modalità di prova

Prima dell'inizio della determinazione del limite liquido si procederà alla regolazione dell'altezza di caduta della Cucchiara di Casagrande, si controllerà lo stato di usura del Cucchiario e dell'utensile solcatore e la regolarità della base, procedendo alla eventuale sostituzione delle parti usurate.

Le tolleranze dimensionali da rispettare sono le seguenti:

- altezza di caduta:  $10 \pm 0.2$  mm;
- profondità del solco di usura sul Cucchiario:  $< 0.1$  mm;
- larghezza della punta del solcatore:  $2 \pm 0.1$  mm;
- profondità della punta del solcatore:  $8 \pm 0.1$  mm;
- diametro dell'impronta di impatto sulla base  $< 10$  mm.

Per la determinazione del limite di liquidità si impiegherà di norma il metodo multipunto, con almeno tre punti di prova.

È consentito adottare il metodo a punto singolo, con esecuzione di almeno due determinazioni.

Per quanto concerne il limite di plasticità, qualora il materiale non risultasse lavorabile, si riporterà come risultato l'indicazione "Non Plastico".

### Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- risultato delle determinazioni espresse come valori percentuali;
- documentazione delle pesate eseguite;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia, termostato) di data non anteriore di sei mesi alla data di prova.

#### 3.1.3.1.6 Analisi granulometrica per vagliatura

##### Generalità

La prova consiste nella determinazione della distribuzione granulometrica dei grani di un campione di terreno trattenuti al setaccio ASTM n° 200.

##### Normative e specifiche di riferimento



- ASTM D 421 - 85 (93) - Standard Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soils Constants
- A.G.I. (1994) - Raccomandazioni sulle Prove Geotecniche di Laboratorio - Analisi granulometrica di una terra.
- CNR B.U. n. 23 – Analisi granulometrica di una terra mediante crivelli e setacci.

### Modalità di prova

L'analisi granulometrica per vagliatura si eseguirà in ogni caso per via umida, impiegando setacci e vagli della serie ASTM di diametro non inferiore ai 200 mm, scelti tra i seguenti termini in funzione della dimensione massima dei granuli: n° 200, n° 120, n° 60, n° 40, n° 20, n° 10, n° 4, 3/8", 3/4", 1", 1.5", 2" e 3". E' ammesso l'uso di serie di setacci equivalenti a quella sopra indicata.

Il quantitativo minimo da sottoporre a prova sarà stabilito sulla base delle dimensioni massime dei granuli presenti in quantità significativa (non inferiore al 10%) secondo il seguente schema:

massa minima da analizzare

Dimensione massima granuli [mm]	Massa minima campione [g]
2	200
10	1000
15	2000
40	10000
60	15000
70	25000
100	35000

Prima dell'esecuzione dell'analisi granulometrica si dovrà procedere ad un controllo dell'integrità dei setacci, sostituendo immediatamente i setacci lesionati.

Il campione da sottoporre ad analisi, una volta essiccato e pesato, verrà immerso in acqua fino al completo distacco della frazione fine dai granuli e la completa disgregazione dei grumi, favorendo l'operazione mediante agitazione meccanica.

Successivamente, evitando qualsiasi perdita di materiale, si procederà alle operazioni di setacciatura favorendo il passaggio del materiale con getti d'acqua e con l'azione meccanica di un pennello molto morbido, avendo cura di non forzare

il materiale tra le maglie dei setacci; l'operazione di lavaggio potrà essere conclusa solo quando l'acqua che fuoriesce dall'ultimo setaccio sia perfettamente limpida.

Si procederà quindi all'essiccazione in forno termostato a 105° e alla determinazione delle masse trattenute a ciascun setaccio.

Il materiale analizzato dovrà essere classificato in accordo alle Raccomandazioni A.G.I. (1977) e, qualora sia stata eseguita anche la determinazione dei limiti di consistenza, anche in accordo allo Standard ASTM D 2487-93 - Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System) e alla Classificazione delle terre CNR-UNI 10006.

### Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- tabella con indicazione della percentuale di materiale trattenuto a ciascun setaccio (se espressamente richiesto dalla D.L.);
- diagramma semilogaritmico % passante - diametro;
- classificazione granulometrica del materiale analizzato;
- documentazione delle pesate eseguite (se espressamente richiesto dalla D.L.);
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia, termostato) di data non anteriore di sei mesi alla data di prova.

#### 3.1.3.1.7 Analisi granulometrica per sedimentazione

##### Generalità

La prova consiste nella determinazione della distribuzione granulometrica della frazione passante al setaccio ASTM n° 200 di un terreno.

##### Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 422 - 63 (90) - Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils

- ASTM D 421 - 85 (93) - Standard Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soils Constants
- A.G.I. (1994) - Raccomandazioni sulle Prove Geotecniche di Laboratorio - Analisi granulometrica di una terra

### Modalità di prova

L'analisi granulometrica per sedimentazione dovrà essere condotta effettuando letture della densità e della temperatura di una sospensione, preparata con 50 gr di materiale passante al setaccio ASTM n° 200, 125 ml di soluzione disperdente (esametafosfato di sodio in soluzione pari a 40g/l, confezionata non più di 30 gg prima della data di impiego) e acqua distillata fino ad ottenere un volume pari a 1000 ml, dopo 1', 2', 4', 8', 15', 30', 60', 120', 240', 480' e 1440' dal termine dell'agitazione preliminare; si precisa che l'analisi potrà considerarsi conclusa solo quando la densità della sospensione risulta prossima a quella dell'acqua pura (circa 48 ore per i terreni fortemente argillosi)

Le letture di densità dovranno essere effettuate con densimetro calibrato di tipo ASTM 151H o 152H.

Per tutta la durata dell'analisi si avrà cura di evitare qualsiasi vibrazione ai cilindri di prova ed eccessive variazioni di temperatura; a tale scopo potrà convenientemente impiegarsi una vasca termostata a 20°.

Il materiale analizzato dovrà essere classificato in accordo alle Raccomandazioni A.G.I. (1977) e, qualora sia stata eseguita anche la determinazione dei limiti di consistenza, anche in accordo allo Standard ASTM D 2487-93 - Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System) e alla Classificazione delle terre CNR-UNI 10006.

### Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- diagramma semilogaritmico % passante - diametro;
- classificazione granulometrica del materiale analizzato;

- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia, termostato, termometro) di data non anteriore di sei mesi alla data di prova.

#### 3.1.3.1.8 Determinazione della massa volumica reale (peso specifico assoluto dei grani)

##### Generalità

La prova consiste nella determinazione del rapporto tra la massa della frazione solida di un terreno ed il suo volume.

Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 854 - 92 - Standard Test Method for Specific Gravity of Soils

##### Modalità di prova

Il peso specifico dei grani dovrà essere ottenuto come valore medio di due determinazioni eseguite col metodo del picnometro calibrato su materiale omogeneo. Per l'eliminazione dell'aria intrappolata si dovrà impiegare una pompa per vuoto con pressione non superiore a 100 mm Hg.

##### Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- valore medio del peso specifico dei grani espresso in Mg/m<sup>3</sup>
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia, manometro, termometro) di data non anteriore di sei mesi alla data di prova.

#### 3.1.3.1.9 Prova di compressione edometrica (IL)

##### Generalità

La prova edometrica consiste nella determinazione dell'entità e della velocità della consolidazione di terreni coesivi soggetti ad incrementi tensionali. Nel corso della

prova edometrica, oltre ai parametri normalmente calcolati, è possibile eseguire determinazioni dirette di permeabilità.

#### Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 2435 - 90 - Standard Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils
- A.G.I. (1994) - Raccomandazioni sulle Prove Geotecniche di Laboratorio –

#### 3.1.3.1.10 Prova di compressione edometrica ad incremento di carico controllati (IL)

##### Modalità di prova

La prova di compressione edometrica ad incrementi di carico controllati dovrà essere condotta su provini cilindrici di diametro non inferiore a 50 mm e rapporto diametro/altezza compreso tra 2.5 e 6 preparati con apposito tornietto campionatore a partire da campioni indisturbati; per materiali poco consistenti si potrà infiggere l'anello portacampione a pressione direttamente nel campione da analizzare; in nessun caso sarà possibile infiggere a mano l'anello portacampione. L'altezza dei provini dovrà in ogni caso essere maggiore di 10 volte il diametro massimo delle particelle costituenti il materiale in prova. La preparazione del provino dovrà avvenire in ambiente ad umidità controllata in modo da evitare qualsiasi variazione al contenuto d'acqua iniziale.

Una volta inserito il terreno nell'anello portacampione si procederà al montaggio della cella edometrica inserendo le pietre porose inferiore e superiore e della carta da filtro tipo Whatman's n. 54 tra il terreno e le pietre porose.

Successivamente si posizionerà la cella edometrica sul telaio di carico applicando una pressione di serraggio pari a 5 kPa controllando le variazioni di altezza del provino e regolando la pressione iniziale per evitare rigonfiamenti o eccessive consolidazioni del provino.

Al fine di evitare rigonfiamenti del terreno in prova si procederà all'inserimento dell'acqua nella cella edometrica solo dopo aver raggiunto un carico verticale pari alla tensione geostatica esistente in sito.

La prova sarà condotta applicando la seguente successione di carico: 12 kPa, 25 kPa, 50 kPa, 100 kPa, 200 kPa, 400 kPa, 800 kPa, 1600 kPa, 3200 kPa. Per cia-

scun gradino di carico si procederà alla registrazione delle deformazioni secondo uno schema temporale in successione geometrica, mantenendo il carico almeno per un tempo sufficiente all'individuazione del tempo di fine consolidazione ( $t_{100}$ ); qualora il diagramma non consentisse una chiara individuazione del  $t_{100}$  il gradino di carico dovrà essere mantenuto per almeno 24 h.

Si procederà poi alla costruzione del diagramma deformazione verticale - logaritmo del carico verticale ( $\epsilon_v - \log \sigma'_v$ ), costruito impiegando i valori di cedimento corrispondenti ai  $t_{100}$ , in modo da valutare l'andamento del processo di consolidazione. Qualora tale diagramma evidenziasse una pressione massima applicata insufficiente (assenza di tre punti allineati dopo la massima curvatura) si procederà all'applicazione di ulteriori incrementi di carico sino ad ottenere chiaramente la retta di compressione.

In seguito si eseguirà la fase di scarico finale con esecuzione di almeno 3 gradini di scarico.

Durante l'esecuzione del ciclo di carico, se richiesto, si eseguirà inoltre un ciclo di scarico ricarico a partire dalla tensione geostatica  $\sigma'_{v0}$  esistente in sito comprendente tre gradini di scarico e tre di ricarico.

Ove richiesto si procederà anche alla determinazione dei valori del coefficiente di consolidazione verticale  $c_v$ , del coefficiente di permeabilità  $k$  e del coefficiente di consolidazione secondaria  $c_\alpha$  in corrispondenza di livelli di carico indicati dalla Direzione Lavori.

### Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- dimensioni iniziali e finali del provino;
- contenuto d'acqua iniziale e finale del provino;
- indice dei vuoti iniziale e finale del provino;
- tabella riassuntiva riportante i valori di deformazione verticale percentuale e di indice dei vuoti per ciascun livello di carico ed i valori del modulo edometrico nei tratti di carico;
- tabella con i valori di  $c_v$ ,  $k$  e  $c_\alpha$  ove richiesto;



- diagramma indice dei vuoti - logaritmo del carico verticale efficace ( $e - \log \sigma'_v$ ) costruito sulla base dei cedimenti corrispondenti ai t100 di fine consolidazione;
- diagramma logaritmo del carico - logaritmo del modulo edometrico;
- diagramma cedimento - logaritmo del tempo per i gradini di carico richiesti;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia, comparatori o trasduttori di spostamento lineari, eventuali trasduttori di carico) di data non anteriore di sei mesi alla data di prova.

### 3.1.3.1.11 Misura della permeabilità per via diretta in edometro

#### Modalità di prova

La determinazione del coefficiente di permeabilità verticale  $k$  potrà essere eseguita per via diretta a carico idraulico variabile in edometro nel corso di una prova edometrica o ad un particolare livello di carico utilizzando una attrezzatura edometrica fornita di apposita buretta graduata per l'applicazione di un carico idraulico al provino; nel corso dell'assemblaggio della cella si dovrà porre particolare attenzione alla completa disaerazione e saturazione di tutti i circuiti idraulici evitando in particolare di intrappolare aria tra provino, filtri in carta e pietre porose. E' opportuno che il flusso idraulico avvenga dal basso verso l'alto al fine di consentire una migliore saturazione del provino.

Prima della misura della permeabilità si dovrà controllare che il processo di consolidazione conseguente l'applicazione del carico verticale sia esaurito, al fine di evitare che il gradiente idraulico generato dal processo di consolidazione interferisca con il flusso idraulico impiegato per la prova alterando i valori di permeabilità misurati.

Le misure di permeabilità dovranno essere protratte sino alla completa stabilizzazione del valore del coefficiente  $k$ .

#### Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- dimensioni iniziali del provino;
- contenuto d'acqua iniziale del provino;

- valore del carico idraulico iniziale applicato al provino;
- tabella riassuntiva con i valori calcolati di permeabilità;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia, comparatori o trasduttori di spostamento lineari) di data non anteriore di sei mesi alla data di prova.

### 3.1.3.1.12 Prova di compressione monoassiale ad espansione laterale libera

#### Generalità

La prova consiste nella determinazione della resistenza alla compressione monoassiale in assenza di confinamento laterale di terreni coesivi e fornisce un valore approssimato della resistenza non drenata espressa in termini di tensioni totali.

#### Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 2166 - 91 - Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil

#### Modalità di prova

La prova sarà eseguita su provini cilindrici di diametro non inferiore a 35 mm e rapporto altezza/diametro compreso tra 2 e 2.5 preparati con apposito tornietto campionatore a partire da campioni indisturbati; per materiali poco consistenti si potrà infiggere a pressione direttamente nel campione da analizzare apposita fustella calibrata; in nessun caso sarà possibile infiggere a mano la fustella. Il diametro dei provini dovrà in ogni caso essere maggiore di 6 volte il diametro massimo delle particelle costituenti il materiale in prova. Particolare importanza assume la preparazione delle facce terminali del provino che dovranno essere perfettamente piane e perpendicolari all'asse del provino. La preparazione del provino dovrà avvenire in ambiente ad umidità controllata in modo da evitare qualsiasi variazione al contenuto d'acqua iniziale.

Il provino così preparato sarà posizionato nella pressa di carico previa lubrificazione delle piastre di carico, al fine di evitare attriti tra le estremità del provino e le piastre di carico; in tale fase si avrà cura di centrare perfettamente il provino rispetto alle piastre di carico.

La velocità di deformazione adottata nella prova dovrà essere compresa tra 0.5 e 2 %/min.; durante l'applicazione del carico si procederà alla registrazione ad intervalli di tempo regolari del carico applicato e della corrispondente deformazione assiale, in modo da avere almeno 15 coppie di valori.

La prova dovrà in ogni caso essere protratta sino ad ottenere una deformazione assiale pari ad almeno il 20 %.

### Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- dimensioni del provino;
- contenuto d'acqua iniziale;
- velocità di deformazione adottata;
- carico di rottura e corrispondente deformazione assiale;
- diagramma carico assiale - deformazione assiale;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo (bilancia, comparatori millesimali o trasduttori lineari di spostamento anelli dinamometrici o trasduttori di carico) di data non anteriore di sei mesi alla data di prova.

#### 3.1.3.1.13 Prova di taglio diretto consolidata – drenata

##### Generalità

La prova consiste nella determinazione dei parametri di resistenza al taglio in condizioni drenate di campioni di terreno sottoposti a sollecitazioni di taglio.

##### Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 3080 - 90 - Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions
- A.G.I. (1994) - Raccomandazioni sulle Prove Geotecniche di Laboratorio - Prove di taglio diretto

##### Modalità di prova

La prova sarà eseguita su tre provini cilindrici o a sezione quadrata di diametro o

lato non inferiore a 50 mm e rapporto diametro/altezza compreso tra 2 e 2.5 preparati con apposito tornietto campionario a partire da campioni indisturbati; per materiali poco consistenti si potrà infiggere a pressione direttamente nel campione da analizzare apposita fustella calibrata; in nessun caso sarà possibile infiggere a mano la fustella. L'altezza dei provini dovrà in ogni caso essere maggiore di 6 volte il diametro massimo delle particelle costituenti il materiale in prova. Particolare importanza assume la preparazione delle facce terminali dei provini che dovranno essere perfettamente piane e perpendicolari all'asse dei provini. La preparazione del provino dovrà avvenire in ambiente ad umidità controllata in modo da evitare qualsiasi variazione al contenuto d'acqua iniziale.

La prova si articola nelle due distinte fasi di consolidazione e di taglio.

Fase di consolidazione: nella fase di consolidazione viene gradualmente incrementato il carico assiale applicato al provino fino al raggiungimento della pressione di consolidazione indicata dalla Direzione Lavori per ciascun provino. Durante la fase di consolidazione si monitoreranno le deformazioni assiali in funzione del tempo, in modo da poter stabilire la fine della fase di consolidazione primaria prima di ciascun incremento di carico, in analogia a quanto indicato per le prove edometriche ad incrementi di carico controllati. I valori delle deformazioni assiali in funzione del tempo relativi all'ultimo gradino di carico saranno registrati e diagrammati in funzione del logaritmo o della radice quadrata del tempo per la determinazione del  $t_{100}$  di fine consolidazione assunto come parametro base per il calcolo della velocità di rottura.

Fase di rottura: nella fase di rottura verrà gradualmente incrementato il carico orizzontale fino ad ottenere deformazioni orizzontali non inferiori al 15% del diametro iniziale del provino.

Al fine di evitare l'insorgere di sovrappressioni idrauliche conseguenti l'incremento tensionale, la velocità di deformazione  $v_r$  sarà stabilita sulla base del  $t_{100}$  di fine consolidazione e dello scorrimento orizzontale atteso a rottura  $\delta_r$  secondo la seguente equazione:

$$v_r = \delta_r / (10 \cdot t_{100})$$

Per quanto riguarda i valori dello scorrimento a rottura, funzione del tipo di materiale in prova, si forniscono i seguenti valori indicativi.

**scorrimento a rottura**

Tipo di terreno	Scorrimento a rottura [mm]
argille tenere	8
argille sovraconsolidate	$2 \div 5$
argille molto sovraconsolidate	$1 \div 2$
sabbie	$1 \div 5$

Durante la fase di rottura si monitoreranno e si registreranno ad opportuni intervalli temporali i valori di spostamento orizzontale, deformazione verticale e resistenza al taglio.

Ove indicato, al termine della fase di rottura si procederà alla determinazione della resistenza residua effettuando almeno quattro cicli completi di andata e ritorno della scatola di taglio fino a fondo corsa alla medesima velocità di scorrimento adottata per la determinazione della resistenza di picco (procedura completa), controllando in ogni caso che si sia raggiunta la completa stabilizzazione della curva resistenza al taglio - scorrimento orizzontale.

La resistenza residua può essere determinata anche attraverso l'esecuzione di 5 cicli di taglio veloci, condotti a velocità di scorrimento compresa tra 1 e 2 mm/min. fino a deformazioni del 15% per ciascun ciclo, e di un ciclo di taglio finale con misura della resistenza al taglio in funzione dello scorrimento orizzontale, condotto alla medesima velocità di scorrimento adottata per la determinazione della resistenza di picco (procedura semplificata).

**Documentazione**

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione e dei provini sottoposti a prova;
- dimensioni iniziali dei provini;
- contenuto d'acqua dei provini;
- diagramma deformazione verticale - logaritmo del tempo, o in alternativa deformazione verticale - radice quadrata del tempo per ciascun provino;
- velocità di deformazione adottata nella fase di rottura;

- diagramma resistenza al taglio - scorrimento orizzontale per ciascun provino;
- diagramma deformazione verticale - scorrimento orizzontale per ciascun provino;
- eventuale diagramma cumulato resistenza al taglio - scorrimento orizzontale per la determinazione della resistenza residua;
- valori della resistenza al taglio e dello scorrimento orizzontale a rottura per ciascun provino;
- eventuali valori della resistenza al taglio residua e del relativo scorrimento orizzontale per ciascun provino;
- rappresentazione dello stato di sollecitazione a rottura ed eventualmente allo stato residuo di tutti i provini sottoposti a prova espresso in termini di sforzi efficaci nel piano  $\sigma/\tau$  con indicazione dell'involuppo di rottura;
- indicazione del valore di resistenza al taglio di picco ed eventualmente residua del campione esaminato espresso in termini di tensioni efficaci dai parametri  $c'$  e  $\phi'$ ;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo (bilancia, comparatori millesimali o trasduttori lineari di spostamento anelli dinamometrici o trasduttori di carico) di data non anteriore di sei mesi alla data di prova.

#### 3.1.3.1.14 Prove di costipamento

##### Generalità

Le prove di costipamento consistono nella determinazione delle caratteristiche ottimali di compattazione di materiali naturali e possono essere eseguite con diverse energie di compattazione.

Il campione fornito al laboratorio dovrà avere una massa non inferiore a 50 kg.

##### Prova di costipamento tipo Proctor AASHTO Standard

##### Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 698 - 91 - Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (600 kNm/m<sup>3</sup>)



- - UNI EN 13286-2 Miscele non legate e legate con leganti idraulici. Parte 2: Metodi di prova per la determinazione della massa volumica e del contenuto di acqua di riferimento in laboratorio. Costipamento Proctor.

### Modalità di prova

La prova per la determinazione delle condizioni ottimali di compattazione di materiali naturali, condotta con la determinazione di almeno 4-5 punti significativi, dovrà essere eseguita con energia di compattazione unitaria pari a  $589 \text{ kJ/m}^3$  in fustella di volume pari a  $2124 \pm 25 \text{ cm}^3$  per terreni granulari e in fustella pari a  $944 \pm 11 \text{ cm}^3$  per terreni a grana fine, compattando il materiale in 3 strati successivi con 25 o 56 colpi per ciascun strato a seconda della fustella usata; il compattatore impiegato, manuale o motorizzato, dovrà essere dotato di una massa battente del peso di  $2.49 \pm 0.01 \text{ kg}$  con altezza di caduta pari a  $304.8 \pm 1.6 \text{ mm}$ .

Durante la compattazione particolare cura dovrà essere posta nell'assicurare una omogenea distribuzione dei colpi del compattatore.

Il materiale da sottoporre a prova dovrà preventivamente essere setacciato impiegando i setacci ASTM n° 4, 3/4" e 3" al fine di individuare la metodologia di preparazione da adottare secondo il seguente schema:

### **Preparazione materiale**

Setaccio ASTM	Trattenuto [%]	Preparazione materiale
4	$\leq 7$	Eliminare il trattenuto al setaccio ASTM n° 4
3/4"	$\leq 10$	Eliminare il trattenuto al setaccio ASTM 3/4"
3/4"	$\leq 30$	Setacciare il trattenuto al 3/4" al 3"; eliminare il trattenuto al 3" e sostituire il materiale passante al 3" e trattenuto al 3/4" con un analogo quantitativo di materiale passante al 3/4" e trattenuto al n° 4. Correggere i risultati ottenuti in conformità a quanto riportato nello Standard ASTM D 4718-87.
3/4"	$> 30$	Prova non eseguibile; necessità di fustelle speciali.

Nella fase di preparazione particolare cura dovrà essere posta al fine di garantire una omogenea distribuzione dell'acqua progressivamente aggiunta e alla miscelazione del materiale.

L'attrezzatura di prova dovrà periodicamente (indicativamente ogni 1000 prove) essere sottoposta a calibrazione con controllo e verifica delle tolleranze dimensionali relative a dimensioni della fustella massa battente ed altezza di caduta.

### Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- dimensioni della fustella;
- tabella riassuntiva con l'indicazione dei valori di peso di peso di volume e contenuto d'acqua di ciascun punto di prova;
- valori ottimali di densità secca e di umidità di compattazione;
- diagramma densità secca - umidità;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo (bilancia, termostato) di data non anteriore di sei mesi alla data di prova.

#### 3.1.3.1.15 Prove di Colonna risonante (RC)

La prova di colonna risonante è una prova di laboratorio dinamica che consiste nell'applicare a un provino in cella cilindrica una sollecitazione pulsante torsionale ciclica, ad una frequenza tale da mandare in risonanza il sistema provino-oscillatore.

Tali prove andranno condotte con riferimento alle specifiche riportate nella norma ASTM D4015 - 15 Standard Test Methods for Modulus and Damping of Soils by Fixed-Base Resonant Column Devices.

### Modalità esecutive e caratteristiche della strumentazione:

La prova dovrà essere effettuata su un provino di terreno di forma cilindrica avente diametro a 50 mm, tramite apparecchiatura dotata di motore torsionale capace di applicare l'eccitazione alla sommità del provino alla sommità del provino fino ad una frequenza non inferiore a 250 Hz, con cella triassiale con capacità di confinamento non inferiore a 1000 kPa, con sistema di misurazione delle pressioni di cella ed interstiziali a due trasduttori di pressione con linearità pari a 0,25%, in un campo di applicazione di 1000 kPa, con trasduttore differenziale di pressione per

la determinazione delle variazioni volumetriche con una capacità non inferiore a 500 ml di acqua e 0,25% di linearità, comprensiva di almeno n°10 determinazioni del modulo di taglio e dello smorzamento eseguite su uno stato tensionale isotropo.

### Documentazione

La documentazione da fornire dovrà comprendere almeno, salvo diversa indicazione:

- Informazioni generali;
- identificazione completa del campione e del provino sottoposto a prova;
- tabella riassuntiva con i valori del modulo di taglio  $G$ , della deformazione di taglio del rapporto di smorzamento  $D$  e dell'incremento delle pressioni neutre  $u$  durante le varie fasi della prova e nella fase di decadimento;
- valore del modulo di taglio  $G_{max}$  espresso in percentuale di quello critico;
- grafico del modulo di taglio  $G$  in funzione della deformazione di taglio;
- grafico dello smorzamento  $D$  in funzione della deformazione di taglio;
- grafico del modulo di taglio  $G/G_{max}$  in funzione della deformazione di taglio.

#### 3.1.3.1.16 Prove triassiali cicliche TXC

Tali prove andranno condotte con riferimento alle specifiche riportate nella norma ASTM D5311 / D5311M - 13 Standard Test Method for Load Controlled Cyclic Triaxial Strength of Soil.

### **3.2 Prove geofisiche tipo Masw 2D**

La prospezione geosismica attiva di superficie di tipo M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves), viene utilizzata per la determinazione del profilo di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) e del parametro  $V_{s30}$  (velocità media delle onde di taglio nei primi 30 metri sotto il p.c.), attraverso il rilevamento delle onde di tipo Rayleigh, tramite stendimento di 12 o 24 geofoni-ricevitori o accelerometri allineati, disposti con distanza intergeofonica non superiore a 5 metri.

Con tale metodologia vengono determinate le curve di dispersione delle onde superficiali di tipo Rayleigh, generate con idonei sistemi di energizzazione e registrate con 12 o 24 geofoni verticali disposti secondo geometria lineare ed offset a distanza non inferiore a tre volte il C-spacing e wave number, aventi diverso periodo di oscillazione (10 Hz, 4,5 Hz).

### Documentazione

- Relazione riepilogativa contenente ubicazione della verticale di esplorazione (espressa in termini di coordinate planimetriche ed altimetriche);
- posizione, rispetto alla verticale, dei ricevitori e della sorgente;
- descrizione della strumentazione utilizzata;
- i segnali registrati dai ricevitori, specificando l'interasse corrispondente tra i ricevitori e la posizione della sorgente;
- il criterio di elaborazione adottato per il calcolo delle velocità e i corrispondenti elaborati;
- l'inversione del modello di rigidità del sottosuolo fino al raggiungimento del miglior "fitting" tra i dati sperimentali e teorici;
- il diagramma che riporta le velocità delle onde di taglio stimate sull'asse delle ascisse in funzione della profondità in metri sull'asse delle ordinate, secondo la Normativa Tecnica vigente.

Dopo aver acquisito i profili verticali 1D di Vs dovrà essere eseguita la ricostruzione della sezione (modello 2D) delle VS dei terreni con approccio multicanale (con almeno due acquisizioni dei segnali, ovvero uno spostamento lungo la linea dello stendimento).

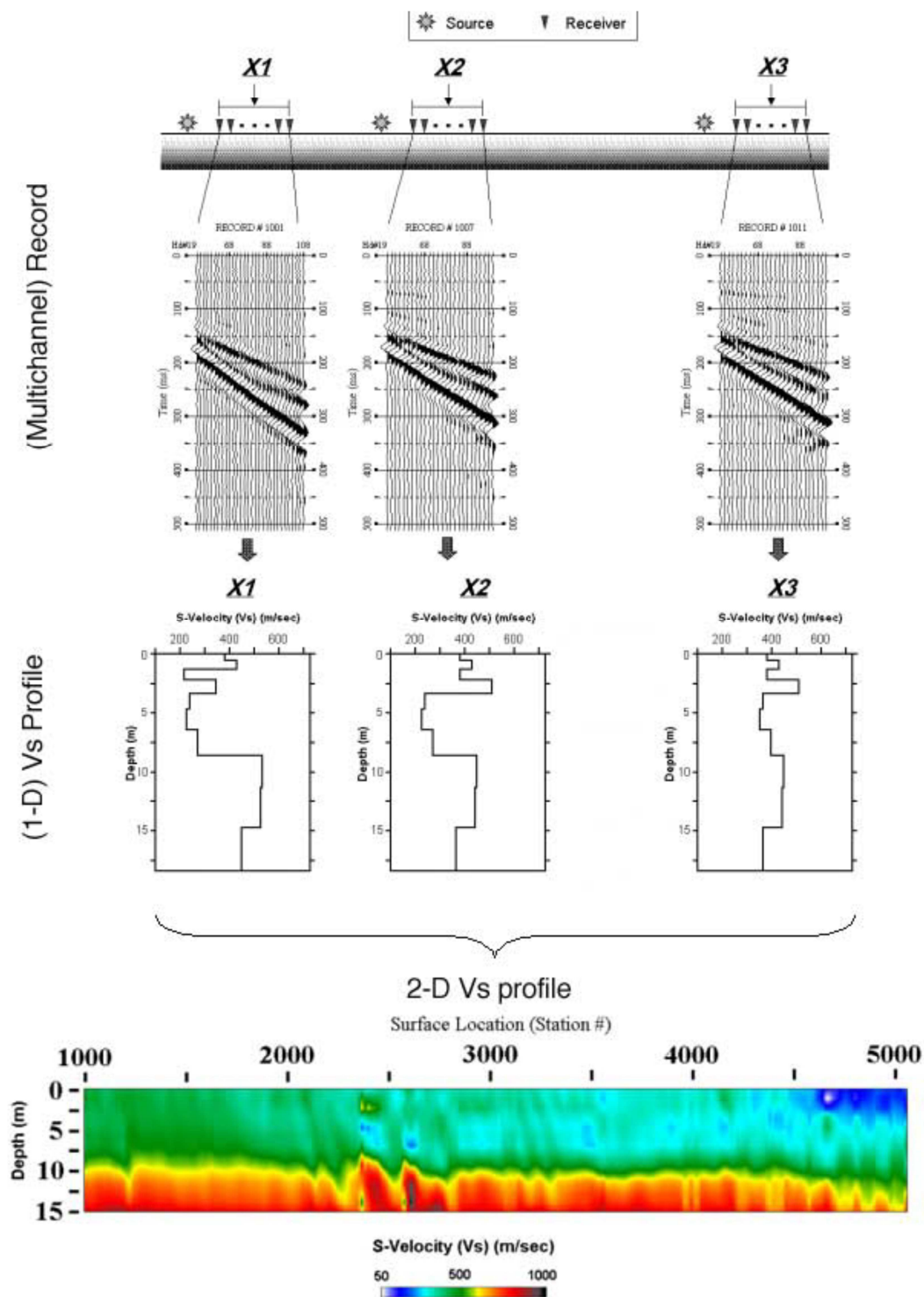


Figura 7 – esempio di restituzione dei risultati dei Masw

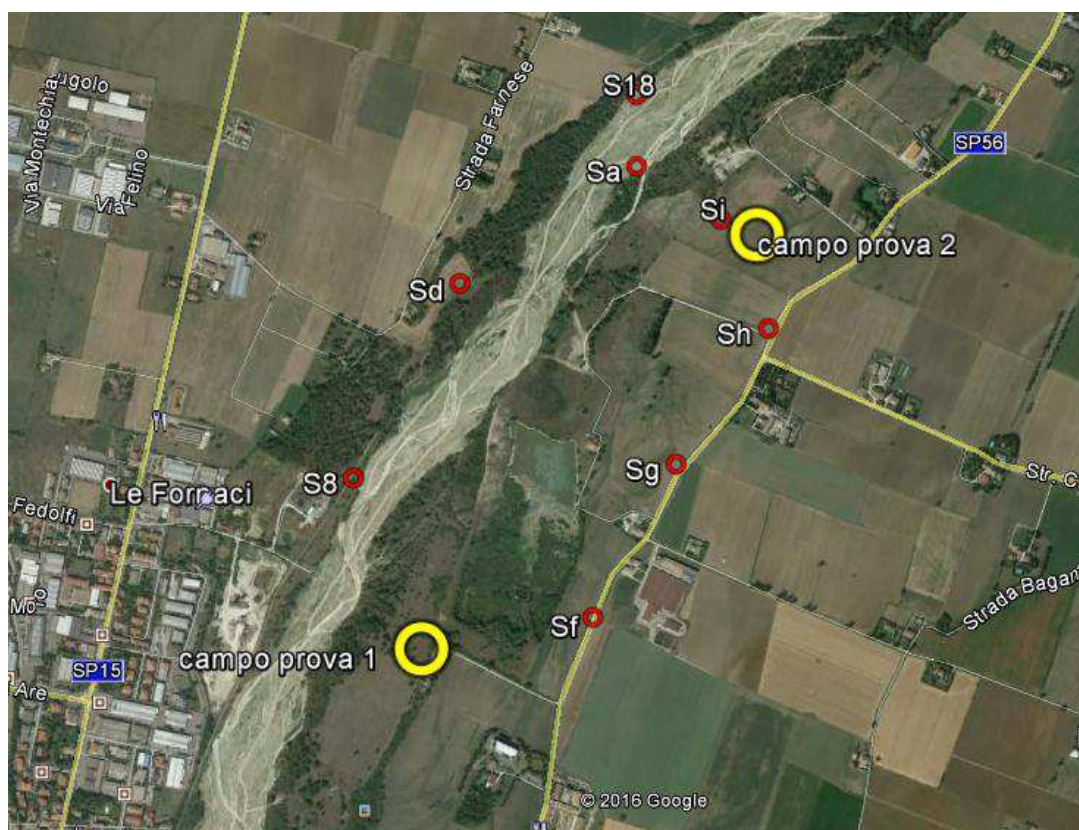


### 3.3 Predisposizione di Campi prova per l'esecuzione di prove di pompaggio

Le attività oggetto di affidamento sono le seguenti:

- perforazione di pozzi a percussione;
- spurgo e sviluppo dei pozzi;
- smaltimento del materiale derivato dalla perforazione;
- installazione impianti per esecuzione di prove di pompaggio (generatore, pompe sommerse, tubazioni di mandata per allontanamento delle acque emunte).

Nella seguente **Figura 8** è mostrata l'ubicazione dei campi prova nei quali si dovranno predisporre, per ciascuno di essi n. 1 pozzo di prova e n. 3 piezometri di controllo adeguatamente disposti, per l'esecuzione di prove di pompaggio per la determinazione dei parametri idrogeologici dell'acquifero.



**Figura 8** – ubicazione campi prova ciascuno costituito da n. 1 pozzo e n. 3 piezometri



### 3.3.1 Perforazione dei pozzi pilota

Le caratteristiche tipologiche dei pozzi pilota da utilizzare saranno differenti per i due campi prova in ragione delle differenti condizioni litologiche del sottosuolo.

#### Campo prova 1

Il pozzo dovrà raggiungere una profondità di 12 m dal piano campagna, così da captare la porzione più superficiale dell'acquifero che sarà principalmente interessata dall'intervento di drenaggio. Sulla base della stratigrafia del carotaggio S16 a una profondità di circa 10.5 m dovrebbe rinvenirsi un livello limoso argilloso dello spessore di 8 m che separa la soprastante falda freatica da quella sottostante che, quantomeno localmente, dovrebbe manifestare condizioni semiconfinare.

Il tratto filtrante dovrà essere posizionato tra 3 e 10 m da p.c.

La stratigrafia presunta del sottosuolo del sito è verosimilmente la seguente:

- da 0 a 3.5 m dal p.c.: ghiaia e sabbia di colore grigio;
- da 3.5 a 10.5 m dal p.c.: ghiaia in matrice limosa di colore marrone;
- da 10.5 a 18.5 m da p.c.: limo argilloso;
- da 18.5 a 20 m da p.c.: ghiaia in matrice limosa di colore marrone;
- da 20 a 24 m da p.c.: limo ghiaioso e limo sabbioso di colore giallo-marrone;
- da 24 a 30 m da p.c.: ghiaia in matrice limosa di colore marrone.

#### Campo prova 2

Il pozzo dovrà raggiungere una profondità di 22 m dal piano campagna, alla quale sulla base della stratigrafia dell'esistente carotaggio S14 si dovrebbe rinvenire un livello limoso-argilloso dello spessore di circa 15 m.

Il tratto filtrante dovrà essere posizionato tra 5 e 20 m da p.c.

La stratigrafia presunta del sottosuolo del sito è verosimilmente la seguente:

- da 0 a 5 m dal p.c.: ghiaia e sabbia di colore grigio;
- da 5 a 8 m dal p.c.: ghiaia in matrice limosa di colore marrone;
- da 8 a 9 m da p.c.: limo argilloso deb. ghiaioso;
- da 9 a 21.5 m da p.c.: ghiaia in matrice limosa di colore marrone con livelli di sabbia limosa e limo sabbioso;

- da 21.5 a 37 m da p.c.: argilla limosa.

### Perforazione e completamento dei pozzi

I pozzi dovranno preferibilmente essere perforati con metodo a percussione. Ulteriori metodologie potranno essere proposte dall'affidatario, purché siano sostanzialmente mantenuti i diametri di perforazione e completamento descritti di seguito e sia escluso l'utilizzo della perforazione a circolazione diretta con uso di fanghi bentonitici.

Lo schema di realizzazione prevede le seguenti attività.

Perforazione - perforazione del diametro di 300÷350 mm fino alla profondità prevista, ovvero sino a 12 m per il pozzo P1 e a 22 m per il pozzo P2. La D.L. in base ai terreni attraversati potrà ordinare la sospensione della perforazione anche prima del raggiungimento della quota prevista o potrà altresì ordinare la prosecuzione della perforazione oltre la quota prevista fino a un ulteriore 5% della profondità massima prevista. Ultimata la perforazione l'Affidatario presenterà alla D.L. la stratigrafia dettagliata del pozzo corredata di ogni indicazione utile per l'individuazione degli strati produttivi. Sulla base di tali informazioni potrà essere modificato lo schema definitivo di completamento del pozzo di seguito descritto.

Posa della tubazione definitiva - Posa in opera da piano campagna a fondo foro di tubazione permanente di rivestimento in acciaio al carbonio bitumato, diametro 168 mm e spessore 5 mm, con contestuale posa in opera di centralizzatori foro/tubo, in misura di uno a circa 2.5 m dal p.c., uno a 11 m dal p.c. e uno a fondo foro. Il tratto fenestrato posto tra 3 e 10 m da p.c. in P1 e tra 5 e 20 m dal p.c. in P2, sarà del tipo a ponte con luce da dimensionare in corso d'opera. La lunghezza complessiva presunta del tratto filtrante sarà di 7 m in P1 e di 15 m in P2. Sarà installato anche un tappo di fondo. Installazione di testa pozzo composta da flangia di chiusura equipaggiata con fori di accesso per tubo piezometrico e cavi di alimentazione della pompa sommersa. La tubazione definitiva del pozzo ed i filtri non potranno essere posti in opera senza l'autorizzazione della D.L. che verificherà la corrispondenza dei materiali approvvigionati con quanto previsto. Il materiale tubo-

lare dovrà risultare fabbricato in base alle norme UNI e API relative alla tipologia di prodotto. Le estremità di ogni tubo di acciaio al carbonio dovranno essere cianfrinate per consentire un'elettrosaldatura a totale penetrazione. **L'impresa dovrà risultare certificata per tale processo di saldatura; l'operatore impiegato dovrà risultare qualificato.** La colonna definitiva del pozzo sarà posta in opera coassialmente alla perforazione disponendo elementi centralizzatori in corrispondenza dell'inizio e della fine dei tratti filtranti che avranno la funzione di evitare che la tubazione stessa si appoggi alle pareti del perforo e dunque di favorire anche il corretto posizionamento del dreno. La giunzione dei tubi in acciaio potrà essere realizzata anche mediante filettature. Prima di ogni singola perforazione dovrà essere preparata dall'affidatario una adeguata piazzola sulla quale saranno depositati i materiali di risulta della perforazione. Un rapporto del Responsabile di cantiere del Contrattista sarà compilato giornalmente nella forma richiesta dalla Direzione Lavori e indicherà:

- data;
- identificativo del pozzo;
- intervalli e litologie dei terreni attraversati conservando un campione ad ogni variazione di strato, in appositi sacchetti in PVC;
- tipo di sonda utilizzata;
- i livelli di falda a inizio giornata;
- registrazione di qualsiasi incidente dell'equipaggiamento;
- lo schema definitivo dei tubi, ciechi e filtrati, costituenti la colonna di produzione;
- i quantitativi di ghiaietto;
- registrazione delle operazioni di spurgo e prove di pompaggio;
- firma del capo perforatore.

I rapporti giornalieri saranno consegnati alla Direzione Lavori al completamento di ogni pozzo. L'affidatario dovrà consegnare le quantità richieste di materiali nel luogo dei lavori in anticipo e nelle quantità sufficienti da evitare ritardi nei lavori. I materiali dovranno essere approvati dalla Committente prima della consegna in cantiere. Tutto il materiale difettoso non sarà usato nei pozzi e dovrà essere sostituito a carico dell'affidatario nel più breve tempo possibile e nel rispetto dei tempi.

Tutti i tubi saranno deposti e sospesi nel foro usando morsetti adatti, cravatte convenzionali, cunei e accessori. Prima di discendere la colonna di produzione, l'affidatario estrarrà tutti i cuttings e i materiali di scavo dal foro e prenderà la misura esatta della profondità fino a fondo foro. L'affidatario provvederà a tutto ciò che è necessario, anche se non specificatamente menzionato, per garantire la messa in opera a regola d'arte dei pozzi. I detriti della perforazione saranno raccolti in apposite vasche predisposte dall'impresa scavando sotto il piano di campagna, ove possibile, o sopra il suolo. Nella stessa vasca avverrà la prima fase di sedimentazione della frazione sottile presente nell'acqua estratta dal foro.

### Formazione del dreno

Nelle zone interessate dalla presenza dei filtri si realizzerà un drenaggio con ghiaietto siliceo, di forma arrotondata, esente da calcare e di granulometria idonea, dimensionata sulla base delle caratteristiche dei litotipi individuati in fase di perforazione. Il ghiaietto impiegato per il drenaggio, della classe granulometrica determinata dalle caratteristiche dell'acquifero dovrà essere del tipo arrotondato, proveniente da sedimenti di fiume a prevalenza silicea (percentuale di  $\text{SiO}_2 > 80\%$ ) e non da frantumazione. Con il ghiaietto siliceo si riempirà l'intercapedine fra tubazione definitiva e perforo in corrispondenza dei tratti filtranti. Nel tratto in corrispondenza dei livelli non saturi, dove non si avranno funzioni di drenaggio, potrà essere utilizzata ghiaia di cava lavata proveniente da frantumazione.

L'Appaltatore dovrà controllare le quote raggiunte dal drenaggio mediante la discesa di testimone prima di iniziare le operazioni per la cementazione selettiva.

### Cementazione e argillificazione

Per eliminare eventuali infiltrazioni superficiali, e per ancorare la successiva testa pozzo, da quota - 2 m sino a piano campagna, lo spazio anulare foro/tubo sarà riempito con boiaccia di cemento avente densità pari a 1,8 kg/l. Quest'ultima operazione dovrà essere eseguita con tubi da inserire nell'intercapedine. La testa pozzo dovrà sporgere di 0.5 m da p.c. Gli eventuali strati impermeabili significativi che saranno attraversati dalla perforazione dovranno essere ripristinati in fase di

completamento mediante la creazione di setti impermeabilizzanti che potranno essere realizzati con argille rigonfianti del tipo e quantità concordanti con la D.L.

#### Opere di sviluppo e accessorie

Terminate le operazioni di perforazione e completamento di ciascun pozzo si dovrà procedere alla realizzazione delle seguenti opere di sviluppo e accessorie:

- spurgo mediante pistonaggio ed emungimento con pompa;
- predisposizione di strumenti elettromeccanici;
- predisposizione di tubazioni di collegamento allo scarico in corso d'acqua.

Spurgo del pozzo - L'Affidatario dovrà disporre di adeguate attrezzature per lo sviluppo del pozzo che potrà avvenire mediante pistonaggio meccanico e utilizzo di pompe sommerse di adeguate caratteristiche. Per un idoneo assestamento del dreno saranno effettuate operazioni di pistonaggio del pozzo per la durata idonea. Si dovrà inoltre effettuare uno spurgo, con elettropompe fornite dall'Impresa, sino all'ottenimento di acqua chiarificata, nella quantità prevista dal progetto, perfettamente pulita ed esente da materiale in sospensione. L'elettropompa provvisoria da installare servirà successivamente anche per le prove di pompaggio e dovrà garantire una portata leggermente superiore a quella critica che dovrà essere valutata a seguito delle prove di collaudo del pozzo. L'affidatario dovrà fornire per detta operazione il seguente materiale:

- elettropompa sommersa per "overpumping", equipaggiata con tubi di mandata, saracinesca a testa pozzo e gruppo elettrogeno;
- l'elettropompa dovrà avere una portata sufficiente a superare la portata critica del pozzo alla prevalenza di circa 15 m;
- lo spurgo dovrà essere protratto finché l'acqua non sarà chiara e libera da materiali in sospensione. Sarà cura della Direzione Lavori fissare la durata dello spurgo;
- l'acqua di scarico dagli spurghi sarà convogliata e stoccata in apposita cisterna a cura dell'affidatario, per essere poi smaltita secondo le disposizioni della Committente, verosimilmente nel T. Baganza, dietro apposita autorizzazione allo scarico.

Tubazioni di collegamento e apparecchiature idrauliche – Il pozzo sarà dotato delle seguenti apparecchiature:

- n.1 misuratore di portata;
- n.1 manometro;
- n.1 saracinesca per la regolazione della portata;
- n.1 idrostop.

Le acque sollevate saranno convogliate direttamente nel Torrente Baganza. Per questa operazione sarà realizzata una tubazione provvisoria per la quale si può ipotizzare un diametro di 100 o 150 mm.

#### Realizzazione dei piezometri di controllo

In ogni campo prova, oltre al pozzo dovranno essere realizzati n. 3 piezometri di controllo. I piezometri potranno essere perforati a distruzione di nucleo con diametro di circa 4" e installazione di un tubo in PVC del diametro di 2". Le caratteristiche di profondità e posizione del tratto filtrante dovranno ricalcare quelle del pozzo di prova e pertanto prevedere le seguenti caratteristiche tipologiche:

- i piezometri del campo prova 1 dovranno avere profondità di 10 m e tratto filtrante tra 3 e 10 m da p.c.;
- i piezometri del campo prova 2 dovranno avere profondità di 20 m e tratto filtrante tra 5 e 20 m da p.c.;

I piezometri dovranno essere realizzati lungo due allineamenti:

- un primo allineamento da disporre all'incirca parallelamente alla direzione di flusso (secondo le indicazioni fornite dai progettisti) costituito dal pozzo + 2 piezometri;
- un secondo allineamento, da disporre ortogonalmente alla direzione di flusso (secondo le indicazioni che saranno fornite dai progettisti) costituito da pozzo + 1 piezometro.

I piezometri dovranno essere realizzati alle seguenti distanze dal pozzo.



Allineamento parallelo alla direzione di flusso:

- pozzo-piezometro 1 = 8-10 m;
- pozzo-piezometro 2 = 15-20 m.

Allineamento ortogonale alla direzione di flusso:

- pozzo-piezometro 3 = 8-10 m.

### Prove di collaudo del pozzo

Dopo le operazioni di spurgo in ciascun pozzo sarà eseguita una prova di emungimento a gradini di portata per verificare la portata critica del pozzo e, quindi, dimensionare la portata ottimale di emungimento da utilizzare nel test di pompaggio a portata costante. La portata dei singoli gradini potrà essere progressivamente incrementata senza arrestare l'emungimento da un gradino e quello successivo.

Dovranno essere registrati due dati: l'abbassamento in metri (con precisione del centimetro) e la portata in l/s. Il numero dei gradini e la loro durata sarà stabilita dalla Direzione Lavori, ma in linea di massima si prevedono almeno 6 gradini ciascuno della durata non inferiore a 30 minuti.

I livelli dinamici saranno misurati ogni 5 minuti.

Ogni 10 minuti e alla fine di ogni gradino saranno effettuate misurazioni di portata, l'ultimo gradino dovrà garantire una portata superiore a quella critica.

### Rapporto finale della perforazione

L'Impresa al termine dei lavori, dovrà, a suo carico, elaborare il rapporto finale di perforazione. Il tecnico specializzato e abilitato (geologo senior) che compilerà tale rapporto, dovrà verificare direttamente le informazioni raccolte nel giornale di cantiere. Dovrà poi redigere la stratigrafia, analizzando e classificando i campioni dei terreni attraversati, e valutare l'andamento della perforazione in base agli avanzamenti. Inoltre provvederà a rilevare ed elaborare i dati ricavabili dalle prove di collaudo. In sintesi dovrà preoccuparsi di raccogliere tutte le informazioni relative alla costruzione del pozzo, formulando le osservazioni che da esse possono scaturire. Il rapporto di cui sopra dovrà essere sottoscritto da tecnico abilitato.

### 3.3.2 Test di pompaggio a portata costante

Terminate le operazioni di sviluppo, spurgo e collaudo del pozzo si provvederà ad effettuare una prova di pompaggio a portata costante di lunga durata, secondo gli standard ASTM D4050 e ASTM D5472-93, le cui finalità saranno le seguenti:

- determinare i valori dei parametri idrogeologici dell'acquifero;
- verificare, sul lungo periodo, la depressione indotta dal pompaggio del nuovo pozzo alla portata di prova.

Per ottenere i suddetti obiettivi si prevede, in linea di massima, di protrarre il pompaggio per un tempo pari a circa 48 ore. Eventuali riduzioni o prolungamenti della durata del pompaggio potranno essere decisi in corso d'opera qualora si osservi il raggiungimento del regime stazionario in tempi più ridotti o, al contrario, qualora si verifichino significative interferenze sui pozzi esistenti circostanti o sulla qualità della falda, tali da suggerire un prolungamento dei tempi di prova. Durante il test la portata di prova dovrà essere mantenuta rigorosamente costante, come previsto dagli standard sopra citati. Alla conclusione della prova dovrà inoltre essere misurata la risalita del livello di falda per un tempo stabilito a discrezione dalla Direzione Lavori.

Per la misura del livello di falda nel pozzo in pompaggio e nei piezometri saranno installati datalogger (questi ultimi ricompresi nelle lavorazioni necessarie alla realizzazione dei pozzi e dei piezometri) per la misura, a intervalli di tempo predefiniti, degli abbassamenti indotti dall'emungimento. L'intervallo di misura sarà verosimilmente impostato con cadenza pari a 1 minuto. Oltre al controllo dell'abbassamento nel pozzo in prova, saranno tenuti sotto osservazione anche i 3 piezometri di controllo.

L'acqua emunta dai pozzi durante le prove sarà scaricata, previo ottenimento di idonee autorizzazioni, nel T. Baganza previa predisposizione di tubazioni di collettamento delle acque. Un'interruzione accidentale delle prove obbligherà il Contratista a ripetere le stesse dopo il ripristino del livello statico.

### 3.3.3 *Installazione impianti per esecuzione di prove di pompaggio*

L'affidatario per l'esecuzione di tali prove dovrà fornire e installare il seguente materiale:

- pompa sommersa, con portata in grado di raggiungere quella critica del pozzo a una prevalenza di circa 15 m;
- generatore elettrico di potenza adeguata per l'alimentazione in continuo della pompa di emungimento; poiché la prova dovrà essere prolungata anche in orario notturno è richiesto l'utilizzo di generatori silenziosi;
- quadro di comando elettropompa completo di collegamenti elettrici;
- tubi di mandata di lunghezza da verificare in funzione della distanza del punto di recapito;
- valvola di regolazione e di controllo flusso a testa pozzo per la modulazione della portata;
- misuratore di portata con campo di misura adeguato alle portate in gioco;
- contenitore graduato della capacità di almeno 1000 l per la verifica delle portate.

Nel caso di fornitura di corrente elettrica tramite generatore, quest'ultimo non manifesti anomalie in fase di accensione e di marcia che, causando ripetute variazioni nel funzionamento della pompa inficerebbero i test condotti.

I restanti strumenti necessari all'esecuzione della prova tra cui data-logger, cronometri, freatimetri, modulistica di acquisizione dati di prova, saranno forniti e installati dai progettisti. Le acque emunte dovranno essere scaricate entro il T. Baganza. È a carico dell'impresa la posa del tubo provvisorio per il recapito delle acque sollevate.

#### Sistemazione finale dell'area

Tutte le operazioni di pulizia del sito per riportarlo alle condizioni originarie, ivi compreso l'allontanamento e lo smaltimento definitivo in discariche esterne dei materiali solidi di scarto e risulta dall'attività di realizzazione pozzi, saranno in carico all'affidatario.

I detriti della perforazione si considerano terre e rocce da scavo ai sensi del D.Lgs. 152/06 e s.m.i. e dovranno avere destinazioni congruenti e ammesse dalla normativa. L'impresa ha l'onere della gestione dei residui solidi e fluidi della perforazione all'interno dell'area di cantiere, per l'intera durata dei lavori. Essa ha la responsabilità di condurre tale attività nel rispetto delle normative vigenti, avendo particolare cura nell'evitare iniziative che possano provocare l'inquinamento del fluido e del detrito. L'impresa ha l'onere di rimodellare la superficie dell'area secondo le indicazioni della D.L. utilizzando le rocce da scavo ove questa opzione sia autorizzata. Nel caso la D.L. decida di disfarsi dei residui, dovrà essere cura dell'appaltatore lo smaltimento, il trasporto e il conferimento in discarica del materiale secondo la normativa vigente.

#### **4. CONDIZIONI GENERALI**

Le raccomandazioni e le indicazioni sopra riportate si danno per accettate da parte dell'Impresa che dichiara, alla firma del contratto, di conoscerle perfettamente.

L'impresa deve assicurare, a proprie spese, durante tutte le fasi di sondaggio (installazione cantiere, perforazione, cementazione, etc.) l'assistenza di un proprio geologo senior per ciascuna macchina di perforazione, che dovrà interfacciarsi con la Direzione Lavori e che provvederà, inoltre, alla redazione della stratigrafia e dello schema costruttivo del piezometro. Tale requisito è elemento fondamentale per l'aggiudicazione delle attività.

Prima dell'avvio delle indagini, saranno condotte tutte le attività necessarie affinché l'esecuzione delle stesse avvenga in condizioni di sicurezza per i lavoratori impegnati.

Per una migliore gestione ed un corretto svolgimento delle attività, il soggetto affidatario dovrà assicurare l'esecuzione ed il completamento di ogni piezometro, in base al cronoprogramma delle attività entro 7 giorni dalla comunicazione da parte della Committenza.

Il soggetto affidatario dovrà inoltre garantire l'eventuale esecuzione di più perforazioni contemporaneamente, anche in zone diverse all'interno delle aree oggetto di studio. Tale requisito è elemento vantaggioso per l'aggiudicazione delle attività.

Nel caso in cui risultasse necessaria la predisposizione di vie d'accesso ai punti di indagine (taglio di vegetazione, eventuali rimozioni di macerie, lastre di calcestruzzo, calcestruzzo armato, ruderi, eventuali rinterri o formazione di piste o quanto altro non specificato) gli oneri relativi agli eventuali mezzi necessari all'esecuzione di tale attività restano a carico dell'Affidatario.

La stazione appaltante si riserva il diritto di apportare al cronoprogramma delle attività tutte le modifiche utili o necessarie per la corretta esecuzione del servizio ed il coordinamento di tutti i soggetti interessati.

Tutte le attività dovranno, altresì, essere svolte nel rispetto della vigente normativa in materia di sicurezza (D. Lgs. 9 aprile 2008, n. 81 e s.m.i.); l'Affidatario dovrà pertanto approntare tutte le misure (igieniche, di protezione collettiva ed individuale, di emergenza ecc.) necessarie a svolgere in completa sicurezza le varie tipolo-

gie di attività, sia per il proprio personale incaricato, sia per il personale esterno che potrà essere presente durante l'esecuzione del servizio.



## **5. ASPETTI ECONOMICI E TEMPORALI**

### **5.1 *Tempo utile per l'esecuzione dei lavori***

Il tempo utile per l'esecuzione dei lavori è pari a 60 (sessanta) giorni naturali e consecutivi dalla data di consegna, come si evince dal cronoprogramma allegato.

Nella stima della durata delle varie fasi di lavoro si è tenuto conto di giorni tre/mese di andamento stagionale sfavorevole, relativi sia alle giornate caratterizzate da eventi meteorologici avversi, sia a quelle immediatamente successive (a motivo dell'impraticabilità dei luoghi).

### **5.2 *Prezzi unitari***

Il computo metrico estimativo allegato è stato determinato sulla base di prezzi unitari dedotti dai prezzi ufficiali e/o listini di seguito elencati, e riportati in specifico elaborato allegato:

- *“Elenco regionale dei prezzi per lavori e servizi in materia di difesa del suolo, della costa e bonifica, indagini geognostiche, rilievi topografici e sicurezza”,* edizione 2015, approvato con deliberazione della Giunta Regionale 15 giugno 2015, n. 697, pubblicata sul Bollettino Ufficiale della Regione Emilia-Romagna n. 145 del 24 giugno 2015;
- *“Elenco regionale dei prezzi delle opere pubbliche – parte A (Opere Edili)”*, edizione 2015, approvato, aggiornato ed integrato con deliberazione di Giunta Regionale n. 683 del 08 Giugno 2015, pubblicata sul Bollettino Ufficiale della Regione Emilia-Romagna n. 127 del 15 giugno 2015.;
- *“Tariffario A.L.G.I. (Associazione Laboratori Geotecnici Italiani);*
- *Prezzario A.N.I.P.A. (Associazione Nazionale di Idrogeologia e Pozzi Acqua),* edizione 2014;
- *“Tariffario delle prove di laboratorio oggetto di certificazione ufficiale”,* inserto del Quaderno Tecnico n°4 della A.L.I.G. (Associazione Laboratori Ingegneria Geotecnica), edizione 2015.

Si è poi provveduto ad apposite Analisi Prezzo (riportate in apposito allegato) per le lavorazioni non riconducibili ad alcun prezzario ufficiale (codifica NP xxx).

### 5.3 Quadro economico

Il quadro economico è costituito dalle seguenti voci:

#### QUADRO ECONOMICO

(ART. 16 DEL D.P.R. 207/2010)

<b>A) per lavori a base d'asta di cui:</b>	€ 193'332.10
a1) per incidenza mano d'opera (non soggetta a ribasso)	€ 94'366.47
a2) per lavori soggetti a ribasso	€ 96'153.53
a3) per oneri di sicurezza (non soggetti a ribasso)	€ 2'812.10
<b>IMPORTO TOTALE (a1+a2+a3)</b>	<b>€ 193'332.10</b>
<b>B) Somme a disposizione dell'Amministrazione:</b>	
b1) per rivalsa I.V.A. 22%	€ 42'533.06
b2) per imprevisti ed arrotondamento	€ 7'843.20
b3) CSP - CSE comprensivo di oneri e IVA	€ 5'200.00
b4) Fornitura di strumentazione di misura freatimetriche in continuo	€ 12'000.00
b5) contributo ANAC	€ 225.00
b6) incentivi (ex art.18 - L.109/94)	€ 3'866.64
	<b>€ 71'667.90</b>
<b>IMPORTO TOTALE DI PERIZIA (A+B):</b>	<b>€ 265'000.00</b>