



COMMISSARIO STRAORDINARIO  
ZES IONICA INTERREGIONALE  
PUGLIA-BASILICATA



REGIONE BASILICATA



Area industriale di Potenza: infrastrutturazione primaria, secondaria e dei servizi della porzione di area ZES di Tito  
**PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA A SERVIZIO DELLE ZONE ECONOMICHE SPECIALI ZES AREA INDUSTRIALE DI TITO**

Titolo elaborato

ELABORATO - G4  
CAPITOLATO SPECIALE DI APPALTO INDAGINI GEOGNOSTICHE

Scala

Committente



**API-BAS** S.p.A.  
Società aree produttive industriali della Basilicata

**P.N.N.R. - PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA**

Progettazione

Api-Bas S.p.A  
Geom. Canio Marra  
Geom. Mario Di Bello  
Ing. Luigi Martiello  
Dott. Rocco Antonio Velluzzi  
Progettisti:  
Ing. Michele Micucci  
Dott. Geol. Raffaele Giampietro  
Ing. Marco Lorusso - F4 INGEGNERIA  
Consulenti:  
Prof. Ing. Beniamino Murgante  
Prof. Ing. Francesco Scorza  
Responsabile Unico del Procedimento  
Ing. Giuseppina Lo Vecchio - Regione Basilicata  
Soggetto Attuatore  
Avv. Floriana Gallucci  
Commissariato Governativo per ZES Interregionale Jonica di Puglia e Basilicata

## **CAPITOLATO SPECIALE D'APPALTO INDAGINI GEOGNOSTICHE**

### **OGGETTO DELL'APPALTO - DESIGNAZIONE DELLE INDAGINI**

#### **ART. 1: OGGETTO DELL'APPALTO**

L'appalto ha per oggetto l'esecuzione della campagna geognostica nella consistenza qualitativa e quantitativa indicata nel presente capitolato speciale e nei disegni di progetto.

#### **ART. 2: DESIGNAZIONE SOMMARIA DELLE INDAGINI**

Le indagini che formano oggetto del presente appalto possono riassumersi come appresso:

- 1) Prospezioni geofisiche;
- 2) Perforazioni di sondaggi e prove in situ;
- 3) Monitoraggio mediante piezometri;
- 4) Analisi e prove di laboratorio geotecnico;

é esplicito patto contrattuale che tutti i lavori presenti nel presente appalto debbano essere eseguiti con i più moderni e perfezionati strumenti e mezzi meccanici, di tale produttività e numero da assicurare la tempestiva ultimazione delle prestazioni richieste eseguite a regola d'arte, entro i termini stabiliti nel presente capitolato.

#### **ART. 3: OPERE ESCLUSE DALL'APPALTO**

Restano escluse dall'appalto le seguenti indagini o lavori integrativi che l'Amministrazione si riserva di affidare diversamente, senza che l'Appaltatore possa sollevare eccezioni o pretesa alcuna o richiedere particolari compensi: **NESSUNA ESCLUSIONE**

#### **ART. 4: CONDIZIONI DI APPALTO**

Per il fatto di accettare l'esecuzione dei lavori sopra descritti l'Appaltatore ammette e riconosce pienamente:

- a) di avere preso conoscenza delle indagini da eseguire, delle condizioni tutte del Capitolato Speciale e delle condizioni locali;
- b) di avere visitato le località interessate dai lavori e di averne accertato le condizioni di viabilità e di accesso, e le condizioni del suolo su cui dovranno eseguirsi le indagini;
- c) di avere attentamente vagliato tutte le circostanze generali di tempo, di luogo e contrattuali relative all'appalto stesso ed ogni o qualsiasi possibilità contingente che possa influire sull'esecuzione delle indagini;
- d) di avere esaminato il progetto dettagliatamente;

e) di avere giudicato, nell'effettuare l'offerta, i prezzi equi e remunerativi anche in considerazione degli elementi che influiscono sul costo dei materiali, quanto sul costo della mano d'opera, dei noli e dei trasporti, delle opere di sicurezza ed attrezzature.

L'Appaltatore non potrà quindi eccepire, durante l'esecuzione dei lavori, la mancata conoscenza di condizioni o la sopravvenienza di elementi non valutati o non considerati, a meno che tali nuovi elementi appartengano alla categoria delle cause di forza maggiore contemplate dal Codice Civile e non escluse da altre norme del presente capitolato o che si riferiscano a condizioni soggette a revisioni per esplicita dichiarazione del presente capitolato speciale d'appalto.

#### **ART. 5: TEMPISTICHE RELATIVE ALL'APPALTO**

La stipula del contratto avverrà in riferimento a quanto previsto dall'Art. 32 del D. Lgs 50/2016 e s.m.i. L'Appaltatore per espletare i lavori avrà a disposizione n. 15 giorni relativamente all'esecuzione delle indagini geognostiche, geofisiche ed in situ e n. 25 giorni per la lavorazione dei campioni di laboratorio con relative analisi geotecniche, per un totale di 40 giorni naturali e consecutivi.

#### **ART. 6: ECCEZIONI DELL'APPALTATORE**

Nel caso che l'Appaltatore ritenga che le disposizioni impartite dalla D.LL. siano difformi dai patti contrattuali o che le modalità esecutive e gli oneri connessi all'esecuzione dei lavori siano più gravosi di quelli previsti nel presente capitolato, e tali da richiedere la formazione di un nuovo prezzo o la corresponsione di un particolare compenso, egli dovrà rappresentare le proprie eccezioni prima di dar corso all'ordine di servizio con il quale tali lavori siano stati disposti.

Resta comunque stabilito che non saranno accolte richieste postume e che le eventuali riserve s'intenderanno prive di qualsiasi efficacia.

### **CAPITOLO II**

#### **PRESCRIZIONI DI CARATTERE TECNICO**

#### **ART. 7: PROSPEZIONI GEOFISICHE**

L'Esecutore dovrà provvedere alla fornitura delle attrezzature necessarie, del personale tecnico specializzato e della manovalanza. Dovrà provvedere alla redazione di una relazione generale sulle indagini geofisiche effettuate, con allegati i diagrammi per ogni specifica indagine, i risultati interpretativi e tutti gli elementi tecnico/scientifici necessari.

## I. PROSPEZIONE GEOSISMICA ATTIVA DI SUPERFICIE DEL TIPO MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES (M.A.S.W.):

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 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 24 geofoni verticali disposti secondo geometria lineare ed offset a distanza non inferiore a tre volte il C-spacing e wave number, aventi periodo di oscillazione non superiore 4,5 Hz. Documenti da consegnare:

a) 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.

## II. PROSPEZIONE GEOFISICA CON IL METODO DELLA SISMICA A RIFRAZIONE (ONDE P) CON ELABORAZIONE TOMOGRAFICA

Il metodo di prospezione sismica a rifrazione misura la velocità di propagazione delle onde sismiche nell'ammasso roccioso mediante allineamenti isolati o consecutivi di geofoni e registrazioni multiple delle onde di compressione e di taglio per ciascun stendimento.

### A. Strumentazione

L'attrezzatura per l'acquisizione dei dati dovrà avere le seguenti caratteristiche minime:

- sismografo con un minimo di n. 24 canali, di tipo digitale incrementale, dotato di capacità di campionamento di 0,05 - 0,1 - 0,2 - 0,5 msec, mille o più punti di campionamento per traccia sismica; il sismografo dovrà, inoltre, presentare la possibilità di stack degli impulsi sismici, filtri analogici e digitali programmabili (filtri attivi tipo high pass, band pass e band reject), guadagno verticale del segnale (in ampiezza) e sensibilità tra 6 e 99 decibel, registrazione dei dati in digitale per elaborazioni successive con formato in uscita non inferiore a 24 bit.
- geofoni verticali con frequenza propria variabile tra 8-15 Hz per il rilievo delle onde di compressione;
- geofoni orizzontali con frequenza propria variabile tra 6-14 Hz per il rilievo delle onde di taglio;
- sistema di comunicazione e di trasmissione del "tempo zero" (time-break).
- sistema di energizzazione necessario a generare le onde sismiche, che potrà essere costituito da:
  - per onde P: o cariche di esplosivo (velocità di detonazione > 5000 m/sec; alta densità di carica); o fucile o cannoncino sismico (in genere calibro 8 con proiettili da almeno 80 gr) in grado di fornire una velocità alla bocca  $\geq 400$  m/sec; o apparato ad impatto di tipo meccanico, elettropneumatico o ad aria compressa (in grado di sviluppare almeno 1000 kgm per registrazioni a distanze superiori a 100 m) o massa battente;
  - per onde S: o massa battente (mazza da 10 kg) agente su un blocco di legno o calcestruzzo adeguatamente ancorato al terreno e posto nelle adiacenze della bocca foro. La forma del blocco deve essere tale da potere essere colpito lateralmente ad entrambe le estremità. Altri dispositivi devono essere preventivamente approvati dalla D.L.

## B. Modalità esecutive ed elaborazione dei dati

Il rilievo sismico dovrà essere eseguito lungo profili rettilinei con geofoni posti ad interdistanza fissa in relazione alla profondità di indagine ed al dettaglio di rilievo richiesto dalla D.L. In linea generale per ogni stendimento la profondità massima raggiunta dalla prospezione sismica è funzione sia delle velocità sismiche dei singoli strati sia della lunghezza dei tiri sismici. Indicativamente la profondità massima indagata è circa  $1/4 \div 1/5$  della lunghezza dei tiri sismici e per ottenere dei risultati ottimali occorre mantenere l'obiettivo della ricerca entro i  $2/3$  della profondità massima. Tale indicazione è adeguata sia per l'elaborazione sismica di tipo ordinario che tomografica.

La spaziatura delle stazioni geofoniche è funzione del dettaglio che si vuole ottenere, in particolare nella sismica tomografica. Per la sismica con acquisizione ordinaria, visto che l'interpretazione analitica comunque non permette di ottenere un incremento di dettaglio vertico-laterale anche variando significativamente i parametri geometrici di acquisizione (geometria stazioni e densità degli shot), normalmente si adottano spaziature di  $1/2 \div 1/3$  della profondità dell'obiettivo (es. spaziature di 5 m per indagini entro 10 m, spaziature di 10 m per indagini entro 20-50 m e spaziature di 20 m per indagini entro 100 m). Per ciascun stendimento, costituito da un minimo di 24 geofoni, dovranno essere effettuate almeno cinque (5) registrazioni da altrettanti punti di energizzazione. Dei suddetti tiri tre (3) saranno posizionati all'interno della base (due alle estremità + uno al centro) in posizione equidistante e due (2) saranno ubicati all'esterno della stesa a distanza tale da garantire la profondità di indagine richiesta. Nel caso in cui il rilievo sismico interessi profondità superiori a circa 30 m i tiri non dovranno essere inferiori a sette (7) per ciascuna base sismica dei quali cinque (2 estremità+3) interni e due (2) esterni. Nella sismica con acquisizione ordinaria l'elaborazione si potrà basare su metodi quali il GRM (Generalized Reciprocal Method) di Palmer e Lankston, il CRM (Common Reciprocal Methods) di Palmer; la scelta di ciascun metodo di interpretazione dovrà essere operata tenendo in debito conto la geometria del sottosuolo investigato e le problematiche di indagine. Per la sismica con acquisizione tomografica, indicativamente la spaziatura può variare tra  $1/4$  ed  $1/5$  della profondità dell'obiettivo secondo lo schema di massima seguente:

- a) obiettivo a 10 m: spaziatura=  $10/4(5) = 2,5(2,0)$  m
- b) obiettivo a 100 m: spaziatura=  $100/4(5) = 25(20)$  m.

Per ciascun stendimento costituito da un numero minimo di 24 geofoni, i tiri dovranno essere eseguiti mediamente ogni 4 geofono oltre ad almeno due tiri esterni alla stesa per un totale minimo di trentadue (7) tiri. In entrambi i casi (sismica ordinaria o tomografica) non si dovrà superare la spaziatura di 20 m in quanto si inficerebbe l'analisi della porzione superficiale (copertura allentata) la quale può determinare importanti variazioni sia dei parametri elastici del sottosuolo sia degli orizzonti se la sua determinazione è errata. I tiri estremi dovranno essere ubicati ad una distanza dal primo e dall'ultimo geofono pari alla metà della distanza intergeofonica utilizzata. I tiri esterni, invece, saranno posizionati, compatibilmente con le condizioni logistico-morfologiche, ad una distanza pari alla semilunghezza della stesa sismica. Eventuali diverse geometrie dei tiri devono essere preventivamente approvate dalla D.L.. L'elaborazione dei dati, attraverso l'esame dei valori registrati in corrispondenza di ciascuna stazione geofonica, dovrà consentire la definizione dei singoli rifrattori o strati sismici individuati in termini sia di spessore che di velocità delle onde sismiche (longitudinali e/o trasversali). Nella sismica con acquisizione tomografica i dati rilevati dovranno essere analizzati con modellazione anisotropica del sottosuolo utilizzando metodologie

iterative di tipo RTC (Ray Tracing curvilinear) ed algoritmi di ricostruzione tomografica tipo ART (Algebraic Reconstruction Technique), SIRT (Simultaneous Iterative Reconstruction Technique), ILST (Iterative Last Square Technique); il campo di velocità nel sottosuolo sarà discretizzato in celle unitarie, di forma rettangolare, le cui dimensioni orizzontali e verticali (assi x e z) dovranno essere pari rispettivamente a  $1/3 \div 1/5$  e  $1/5 \div 1/10$  della spaziatura tra i geofoni. I dati rilevati dovranno essere analizzati anche in termini di attenuazione anelastica degli impulsi sismici attraverso la determinazione del fattore qualità Q.

Il fattore qualità Q è correlato al coefficiente di attenuazione attraverso la seguente relazione:  $\alpha =$  coefficiente di attenuazione VP = velocità delle onde di compressione f = frequenza dominante dell'analisi Il coefficiente di attenuazione esprime l'entità del fenomeno di assorbimento dell'energia sismica in relazione allo specifico divario rispetto alla condizione di perfetta elasticità nei diversi materiali in cui l'onda sismica si propaga. A seguito dell'attenuazione le componenti ad alta frequenza degli impulsi sismici si estinguono più rapidamente di quelli a bassa frequenza; la misura di  $1/Q$ , proporzionale alla frazione di perdita dell'energia per ciclo d'onda sinusoidale, contribuisce a fornire informazioni sulle caratteristiche del mezzo attraversato (frequenza di fratturazione, grado di saturazione ecc.). I processi fondamentali di analisi per la misura dell'attenuazione dovranno seguire le seguenti procedure:

- analisi del rapporto spettrale delle ampiezze variabili nelle diverse componenti di frequenza dell'impulso microsismico ed assorbite in vario grado in funzione della distanza;
- analisi del decadimento d'ampiezza dei primi eventi o di quelli successivi in ragione della distanza e successiva rettificazione della valutazione per compensare la diminuzione dovuta alla geometria di propagazione;
- valutazione delle variazioni di larghezza dell'impulso sismico (pulse width time) in relazione alla distanza; la misura deve essere effettuata sul primo quarto di ciclo del primo evento. Ove non si disponga di adeguata cartografia di base che permetta una precisa ubicazione di tutti i punti di stazione (geofoni e punti di energizzazione), si dovrà ricorrere ad un rilievo planoaltimetrico, con precisione di  $\pm 0,5$  cm, da riferirsi a capisaldi topografici chiaramente individuati sul terreno e riportati sulla carta topografica.

Documenti da consegnare

- a) Relazione conclusiva in cui siano dettagliatamente descritte le operazioni eseguite, i criteri di calcolo e di interpretazione adottati, nonché una sintesi dei risultati ottenuti;
- b) Cartografia in scala 1:1000 (o 1:500) con l'esatta ubicazione degli stendimenti effettuati;
- c) Libretti di campagna dei rilievi topografici, se effettuati, e sismogrammi in originale rilegati in fascicolo con le necessarie indicazioni per la loro esatta individuazione sulla cartografia;

- d) Diagrammi "Distanze/Tempi Rifratti" (Dromocrone), rappresentati con la stessa sequenza e continuità degli stendimenti effettuati, corredati degli eventuali passaggi intermedi dell'elaborazione; e) Sezioni Sismostratigrafiche in termini di velocità delle onde e del fattore qualità se richiesto, alla scala che verrà stabilita dalle D.L., che dovrà risultare adeguata a rappresentare tutti i dettagli emersi dall'elaborazione. Dette sezioni dovranno riportare tutte le indicazioni parametriche dei singoli rifrattori individuati e, in proiezione, la posizione di eventuali sondaggi meccanici e/o misure geofisiche in foro eseguiti per taratura e/o controllo;
- f) Sezioni Tomografiche con elaborazione a celle di velocità, in termini di velocità delle onde sismiche, alla scala che verrà stabilita dalle D.L.
- g) Sezioni Tomografiche con elaborazione a isolinee, in termini di velocità delle onde sismiche, alla scala che verrà stabilita dalle D.L.
- h) Sezioni tomografiche con elaborazione smooth, in termini di velocità delle onde sismiche, alla scala che verrà stabilita dalle D.L.
- i) Sezioni Tomografiche con elaborazione a isolinee, in termini di gradienti di velocità delle onde sismiche, alla scala che verrà stabilita dalle D.L.
- l) Sezioni tomografiche con elaborazione del Fattore di Qualità (Q) a isolinee.
- m) Sezioni tomografiche con elaborazione del Fattore di Sensitivity (S) a isolinee.

Tutti i modelli dovranno essere restituiti in formato .dxf .

Riferimenti normativi:

- ASTM D 5777-00. Standard guide for using the seismic refraction method for subsurface investigation.



### III. PROSPEZIONE GEOFISICA CON IL METODO DELLA SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA HVSR:

Questa tecnica si basa essenzialmente sul rapporto spettrale H/V di rumore ambientale (seismic noise) e permette di valutare gli effetti locali di sito. La tecnica proposta da Nakamura assume che i microtremori (il cosiddetto rumore di fondo regi- strabile in qualunque momento posizionando un sensore sismico sul terreno) consistano principal- mente di un tipo di onde superficiali, le onde di Rayleigh, che si propagano in un singolo strato sof- fice su semispazio e che la presenza di questo strato sia la causa dell'amplificazione al sito.

#### A. Modalità esecutive ed elaborazione dei dati

La strumentazione di acquisizione presenta le seguenti specifiche:

- trasduttori tricomponenti (N-S, E-W, verticale) a bassa frequenza ( $< 1-2$  Hz);

amplificatori;

digitalizzatore;

- frequenza di campionamento:

$> 50$  Hz;

convertitore A/D (analogico digitale) a 24 bit;

durata registrazione:  $> 15$  minuti;

collegamento al tempo GPS per la referenziazione temporale.

Lo strumento di misura dovrà essere orientato secondo le direzioni geografiche (E e W) e dovrà es- sere dotato di bolla sferica per il posizionamento mentre l'accoppiamento con la superficie dovrà essere diretto o assicurato con piedini o puntazze in terreni morbidi. Bisognerà altresì fare attenzione alla presenza di radici, sottoservizi, vicinanza edifici, vento ecc., in quanto creano disturbo nel segnale H/V inducendo una forte perturbazione a bassa frequenza. Per uno studio di risposta di sito si dovranno effettuare almeno tre misure ognuna di almeno 15 20 minuti per punto, possibilmente in tempi diversi durante la giornata, da cui derivare il valore di fre- quenza di risonanza.

Per l'elaborazione dei dati si dovrà impiegare un software in grado di consentire la determinazione delle frequenze di risonanza del sottosuolo mediante la tecnica dei rapporti spettrali secondo le linee guida del progetto europeo SESAME (Site EffectS assessment using Ambient Excitations, 2005).

I principali passi del processing dovranno essere i seguenti:

FFT (incluso il tapering);

operatore di smoothing (Konno & Ohmachi);

merging dei componenti orizzontali;

- H/V Spectral Ratio per ogni finestra utilizzata ( $> 10$ ); media degli spettri H/V;

- valutazione della deviazione standard.

Le risultanze dell'elaborazione dovranno essere presentate mediante graficazione dei rapporti spettrali H/V delle varie componenti indicando il massimo del rapporto HVSR nel valore di  $f_0$  - Frequenza/e di risonanza e la sua deviazione standard.

### C. Documentazione finale

La documentazione dovrà contenere:

i criteri di attendibilità della misura;

i criteri di validità del picco di  $f_0$ ;

i valori di soglia delle condizioni di stabilità;

l'analisi dei criteri in particolare con verifica rispetto alla frequenza del sensore ed alla presenza di rumore di origine industriale;

l'interpretazione di  $f_0$  e dello spettro H/V nei termini di caratteristiche del sito.

- valutazione dell'omogeneità del sito rispetto alle frequenze di risonanza; spessori della coltre di copertura.

## IV. PROSPEZIONE GEOFISICA CON IL METODO ELETTRICO, CON METODOLOGIA TOMOGRAFICA:

La prospezione geofisica consiste nel progressivo spostamento lungo una linea definita (o secondo una maglia) di un quadripolo AMNB, misurando di volta in volta la resistività dei terreni attraversati.

La prova dovrà essere adatta a determinare contrasti lineari o laterali di resistività, corrispondenti a variazioni di materiali o di altre caratteristiche fisiche (densità, zone d'acqua ecc..).

La metodologia tomografica consiste nell'assegnare una determinata posizione ad uno dei due poli e nell'allontanare l'altro progressivamente, lungo il profilo, per quantità lineari fisse. Il risultato sarà la misura della resistività apparente dei punti di intersezione delle linee a  $45^\circ$  originate dai centri dei due dipoli (dispositivo dipolo-dipolo). L'elaborazione tomografica consisterà nel tracciamento di isolinee di resistività con fasce cromatiche differenziate (pseudosezioni di resistività), interpretando con appositi programmi di calcolo la sezione di resistività reale del sottosuolo a partire dalla distribuzione di resistività apparente.

### A. Strumentazione

La strumentazione utilizzata, di

potenza adeguata in relazione alle misure da eseguire sui massimi stendimenti previsti, dovrà avere caratteristiche tali da permettere l'ottenimento dei migliori risultati possibili. In particolare l'attrezzatura minima dovrà comprendere:

- un dispositivo multielettrodo con almeno 32 elettrodi e una unità di acquisizione dati caratterizzata da un georesistivimetro digitale con impedenza di ingresso minima di 10 megaohm, sensibilità almeno di 0,1 millivolt, circuito di compensazione dei potenziali spontanei; possibilmente lo strumento dovrà controllare l'erogazione di corrente con
- accuratezza nella misura dell'intensità di corrente inferiore al 1 % del valore immesso, il georesistivimetro dovrà eseguire ripetuti cicli di misura memorizzando resistività, differenza di potenziale, intensità e deviazione standard;
- generatore di potenza costituito da un gruppo elettrogeno con raddrizzatore di potenza adeguata o con batterie a secco anch'esse di tensione e potenza adeguata;
- cavi elettrici multipolari ad alto isolamento con guaina specifica di protezione resistente alle azioni di trazione e abrasione;
- elettrodi in acciaio o rame del tipo "smart electrodes", dotati di una elettronica interna che ne consenta l'utilizzo sia come elettrodi di corrente che di potenziale;
- radio ricetrasmittenti e/o telefoni per collegamento in linea. B. Modalità esecutive Il metodo geoelettrico si basa sulla misura tra due elettrodi (detti convenzionalmente MN) della differenza di potenziale  $\Delta V$  connessa alla distribuzione nel sottosuolo di una corrente elettrica  $I$  immessa in una diversa coppia di elettrodi, detti AB. Si otterrà quindi un valore di resistività apparente pari a:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I}$$

che è funzione, oltre che della posizione reciproca dei 4 elettrodi anzidetti (dipendenza contenuta nel parametro  $K$ , detto fattore geometrico), della distribuzione della resistività elettrica delle rocce nel sottosuolo interessato dalla propagazione della corrente  $I$ . I dati così acquisiti devono essere "interpretati" per ottenere, dall'insieme dei valori di  $\rho_a$  (resistività apparente), un modello dell'effettiva distribuzione delle resistività elettriche reali nel sottosuolo indagato. Da questa distribuzione, con opportune tarature e/o in base alle conoscenze geologiche del sottosuolo, il modello geofisico viene trasformato in modello geo-litologico. Si potranno utilizzare indifferentemente dispositivi elettrodo di Wenner o di Schlumberger (Figura 3.6.1.3-1) o in casi particolari dispositivi dipolo-dipolo e polo-dipolo.

Nel dispositivo Wenner (Figura 3.6.1.3-1, a)) lo spazio tra gli elettrodi è costante:  $AM = MN = NB = a$ . Per cui il fattore geometrico  $K$  è dato da:  $K = 2ap$ . Lo schema di misura di una tomografia elettrica effettuata con il dispositivo Wenner prevede, l'esecuzione di misure effettuate traslando i quattro elettrodi e mantenendo la spaziatura "a" costante. Quando sono terminate le misure su tutti i picchetti si riparte dall'inizio portando la spaziatura ad un valore  $2a$  nella seconda serie, a  $3a$  nella terza e così via, fino ad aver effettuato tutte le misure possibili. Più si allarga la spaziatura a più si indagano porzioni profonde di terreno. Lo stendimento Wenner ha una maggiore sensibilità nella porzione di terreno che si trova tra gli elettrodi AM ed NB. C'è una maggior sensibilità alle variazioni verticali di

resistività e minore per quanto riguarda le variazioni orizzontali. Se confrontato con gli altri stendimenti, il Wenner ha una profondità di indagine minore, ma una maggiore intensità di segnale e risulta di più facile interpretazione. Nel dispositivo Schlumberger (Fig. 1) lo spazio tra gli elettrodi di potenziale è costante, mentre varia la distanza tra gli elettrodi di corrente (C1 e C2 dello schema sottostante). Tale metodo risente maggiormente dei disturbi elettrici del terreno ma consente di raggiungere profondità superiori rispetto alla configurazione di Wenner. In accoppiamento con il metodo Wenner (acquisizione simultanea) consente di ottenere risultati ottimali per stabilità di misura e profondità di indagine.

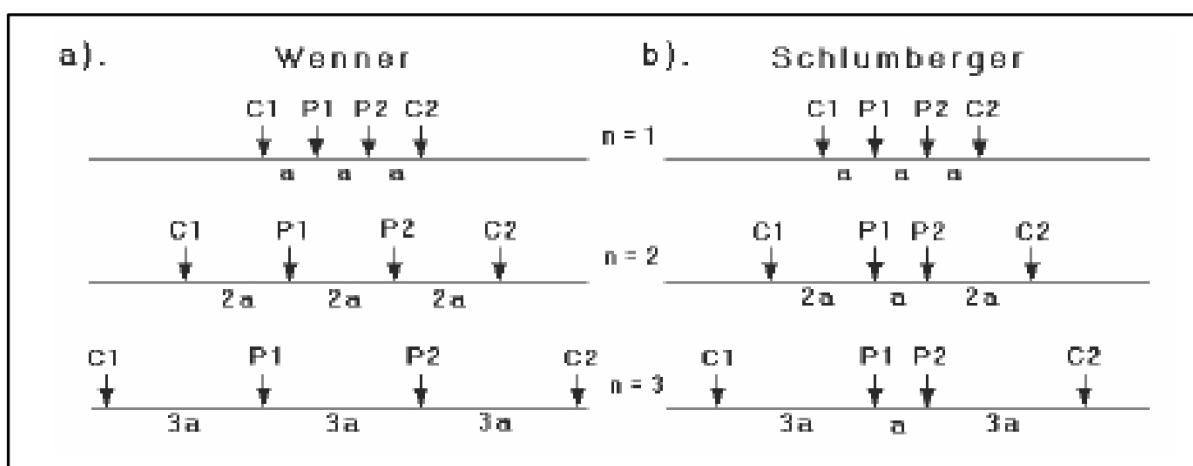


Figura 1

Nel dispositivo Dipolo-Dipolo i due elettrodi di corrente hanno spaziatura costante (C1 e C2) e sono esterni agli elettrodi di potenziale (P1 e P2). Il dispositivo dipolo-dipolo consente di raggiungere profondità superiori al dispositivo Schlumberger, con maggior densità di quadripoli di misura. Tuttavia, per piccole spaziature, il metodo può risentire di forti disturbi per la vicinanza degli elettrodi di corrente (polarizzazione degli elettrodi). Esistono numerose altre configurazioni (Figura 2) con posizionamento di elettrodi di corrente esterni alla configurazione multipolare e possono essere utili per il raggiungimento di profondità superiori alle configurazioni convenzionali. Preliminarmente all'esecuzione della campagna di prospezione geoelettica dovrà essere effettuata

una prova di isolamento dei cavi del circuito elettrico. La lettura agli elettrodi di tensione dovrà essere sufficientemente elevata in rapporto al rumore di fondo; in condizioni di scarso rapporto segnale/disturbo dovrà essere previsto uno stacking automatico dei dati in modo tale da garantire una acquisizione del segnale con sensibilità di 10 microvolt.

La durata del periodo di registrazione dovrà essere tale da permettere la valutazione, senza incertezze, del valore della differenza di potenziale ( $\Delta V$ ). La distanza interelettrodica sarà definita sulla base delle profondità da raggiungere e delle dimensioni dell'obiettivo di indagine e dovrà comunque essere preventivamente concordata con le Ferrovie. Per incrementare il dettaglio della misura ed ottenere il

ricoprimento tra due linee contigue si farà ricorso a tecniche di sovrapposizione di linee consecutive (roll-along) mediante spostamenti successivi con passo regolare di una porzione (1/3 o 1/4) dello stendimento iniziale. Per la definizione delle modalità esecutive più corrette della prospezione potranno essere eseguiti alcuni sondaggi elettrici verticali per la taratura delle caratteristiche geoelettriche del sottosuolo.

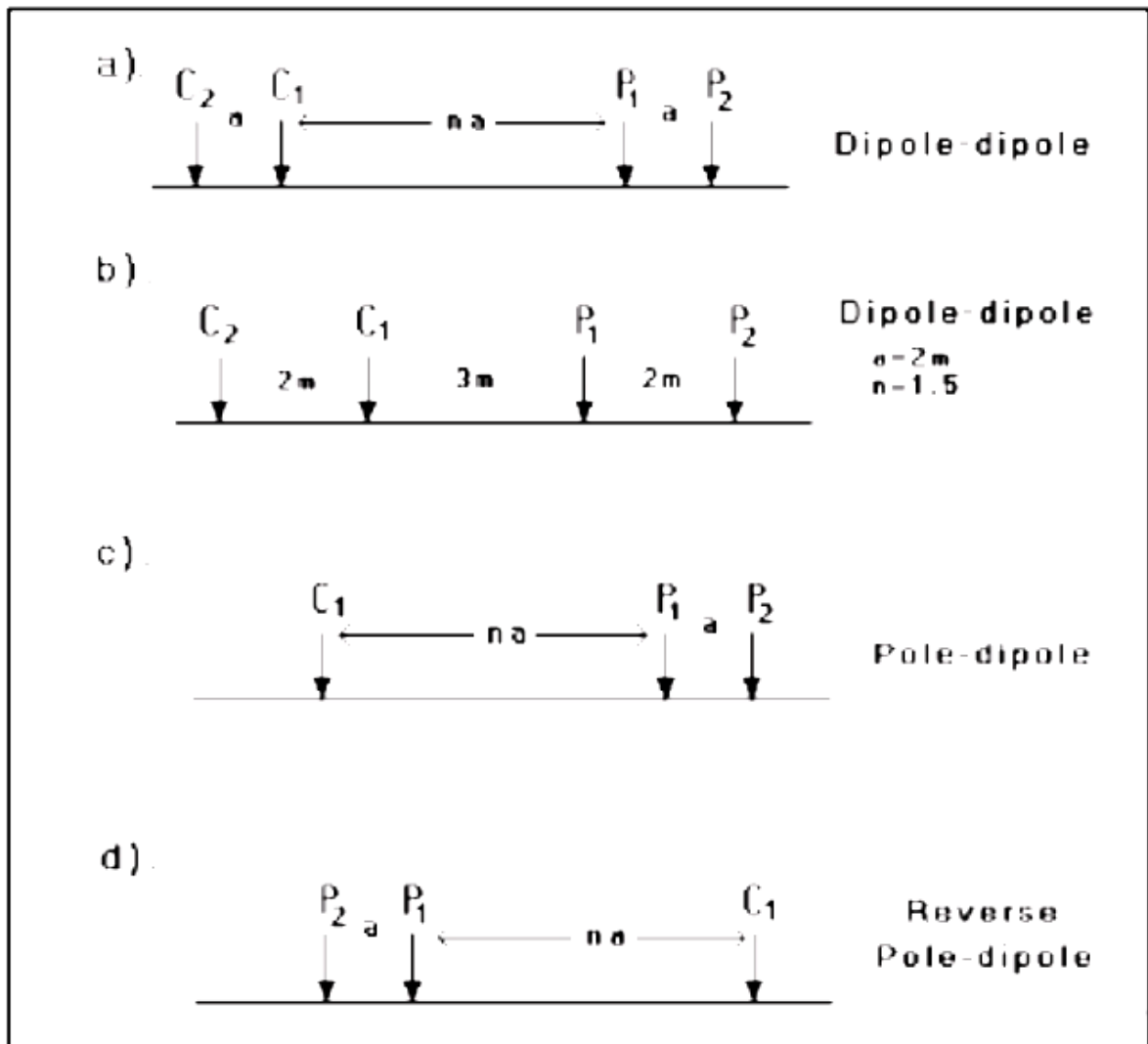


Figura 2

L'elaborazione dei dati dovrà permettere:

- la ricostruzione di “pseudosezioni” di resistività mediante l'impiego di software di contouring;
- il calcolo dei valori di resistività vera tramite inversione bidimensionale e lo sviluppo di un adeguato modello di distribuzione della resistività del sottosuolo; il software di inversione dovrà essere in grado di applicare l'eventuale correzione topografica.

Documenti da consegnare:

- Relazione conclusiva contenente la descrizione della strumentazione impiegata, delle operazioni eseguite, con commento ed interpretazione dei dati acquisiti e delle anomalie riscontrate eventualmente tarate sulla base di sondaggi meccanici o altre prove geofisiche eseguite;

➤ Carta con l'ubicazione planimetrica dei punti di misura, delle linee e degli eventuali sondaggi di taratura eseguiti, in scala da concordare con le Ferrovie;

Tabelle con i valori di voltaggio, corrente, deviazione standard e resistività apparente per ogni singola misura;

➤ Pseudosezioni di resistività in scala adeguata, con i punti di misura, scala cromatica di riferimento (ohm-m) e relativa legenda orizzontale interpretativa contenente i valori della resistività;

➤ Risultati dell'inversione e modellizzazione dei dati unitamente al completo database utilizzato per la valutazione geoelettrica ed il calcolo della distribuzione della resistività;

➤ Copia dei libretti di campagna originali.

#### **ART. 8: SONDAGGI GEOGNOSTICI**

Il tipo di attrezzatura per l'esecuzione dei sondaggi deve essere adeguato al raggiungimento delle posizioni e delle profondità prefissate, ovvero che si renderanno necessarie, in funzione dei risultati dell'indagine fino a quel momento svolta. Pertanto, qualora le condizioni morfologiche lo richiedano dovrà essere utilizzata una sonda montata su cingoli. Le perforazioni, siano esse a carotaggio continuo o a distruzione di nucleo, comunque inclinate, dovranno essere eseguite con diametro idoneo a garantire l'introduzione e la messa in opera di apparecchiature di misura (es.: piezometri tipo Casagrande o altri, inclinometri, estensimetri, ecc.) nei fori di sondaggio indicati dalla Direzione dei Lavori.

#### **I. PERFORAZIONE A CAROTAGGIO CONTINUO**

Le modalità di perforazione e il diametro dei fori saranno tali da rendere minimo il disturbo dei terreni attraversati. La perforazione dovrà consentire la massima percentuale di recupero delle carote in funzione del tipo di terreno attraversato; il recupero dovrà essere ritenuto idoneo dalla Direzione Lavori. Le carote prelevate durante il corso della perforazione verranno conservate in apposite cassette catalogatrici sulle quali verranno riportati in perfetta evidenza e in modo indelebile il numero di sondaggio e la profondità del rilievo. Il compenso per la fornitura delle cassette catalogatrici verrà riconosciuto solo per quelle utilizzate per la conservazione temporanea, per il periodo richiesto dalla Direzione Lavori, delle carote. L'impresa potrà recuperare le cassette al termine dei lavori, con l'onere del trasporto a discarica del materiale estratto. Dopo aver completato ogni singola cassetta, l'impresa è tenuta ad eseguire a proprie cure e spese, almeno una fotografia su stampa a colori del contenuto, in cui sia visibile, oltre alle carote, l'indicazione del cantiere, il numero del sondaggio, la profondità dal piano di campagna cui corrisponde la cassetta e un

comparatore colorimetrico. Le stampe dovranno essere fornite alla Direzione Lavori insieme alla relazione tecnica, al termine dei lavori. In terreni teneri la perforazione sarà eseguita con carotiere semplice ed assolutamente a secco. In presenza di terreni consistenti, o in particolari condizioni stabilite dalla Direzione Lavori, la perforazione dovrà essere eseguita con carotiere doppio o altra attrezzatura ritenuta idonea dalla Direzione Lavori; in ogni caso si dovrà limitare l'uso dell'acqua. Per evitare il franamento delle pareti dei fori di sondaggio saranno impiegati rivestimenti metallici il cui avanzamento seguirà quello della perforazione. Il diametro dei rivestimenti sarà tale da permettere l'uso dei campionatori previsti e di quant'altro necessario per effettuare le prove in sito. In presenza di foro poco stabile l'operatore dovrà mettere in atto tutti gli accorgimenti necessari ad assicurarne la stabilità. Eventuali deformazioni di fori non rivestiti o franamenti delle pareti comportano l'esecuzione di perforazioni sostitutive, a distanza di 2-3 m, sino alla quota precedentemente raggiunta, senza che la Ditta appaltatrice possa chiedere compensi o sovrapprezzi. Nel corso dei sondaggi sarà rilevata la stratigrafia del terreno attraversato; in essa dovranno comparire tutti gli elementi relativi ai campioni rimaneggiati ed indisturbati. Per ogni sondaggio eseguito in terreni sciolti e/o coesivi dovrà essere descritto:

- ubicazione e denominazione del cantiere;
- committente ed Impresa esecutrice;
- quota dei sondaggi;
- orientamento del sondaggio e inclinazione rispetto alla verticale;
- data di inizio e fine della perforazione;
- metodi di perforazione impiegati nei diversi tratti;
- caratteristiche dell'attrezzatura di perforazione e diametro di perforazione del carotiere; - eventuali metodi di stabilizzazione del foro adottati;
- tipo e diametro degli eventuali rivestimenti;
- profilo stratigrafico rilevato durante la perforazione con denominazione e rappresentazione simbolica della natura e consistenza dei terreni attraversati, con profondità dal piano di campagna e spessore dei diversi tipi litologici.
- profondità di prelievo dei campioni disturbati e/o indisturbati;
- note relative a perdite di fluidi di circolazione, eventuali franamenti delle pareti, rifluimenti dal fondo e quant'altro possa essere rilevato in campagna;
- profondità di ogni manifestazione acquifera incontrata, da semplici perdite ai livelli freatici, di cui dovrà essere fornita la quota massima e minima rilevate nel corso del sondaggio fino a stabilizzazione o diversamente, a richiesta della Direzione Lavori. Le misurazioni inoltre



andranno sempre effettuate all'inizi, alla fine di ogni turno di lavoro e alla sospensione antimeridiana, avendo cura che il foro sia libero da eventuali materiali che impediscano alla falda di raggiungere, durante la notte, il livello statico. Il sondaggio, se non utilizzato per la posa in opera di strumentazione geotecnica, dovrà essere riempito con idoneo materiale, secondo le indicazioni della Direzione Lavori, con onere dell'Impresa.

Per sondaggi in roccia o in strati cementati, il diametro di perforazione sarà tale da ottenere carote del diametro di almeno 85 mm. Non è consentito l'uso di attrezzi quali triconi, scalpelli o altri che operino "a distruzione", a meno che ciò non sia, per fini particolari, esplicitamente richiesto. Il loro uso è consentito per alesare un foro in cui siano già state prelevate le carote con le modalità sopra indicate.

## II. FORNITURA DI CASSETTE PER CAMPIONI INDISTURBATI

I campioni di terreno o carote prelevati nel corso dei sondaggi saranno custoditi in apposite cassette catalogatrici, munite di setti divisori e coperchio, recanti l'indicazione del cantiere, il numero del sondaggio e profondità dal piano di campagna dei prelievi conservati. Le cassette catalogatrici contenenti i materiali prelevati verranno tenute in cantiere, a disposizione della Direzione Lavori, fino al termine delle indagini, in un luogo asciutto e riparato. Al termine dei lavori le cassette potranno essere recuperate dalla Ditta appaltatrice che avrà l'onere del trasporto a discarica delle carote in esse contenute.

## III. PRELIEVO DI CAMPIONI INDISTURBATI

Nei terreni coesivi e semi coesivi (limo, argilla, limo sabbioso, ecc.) incontrati durante la perforazione del sondaggio, verranno prelevati campioni indisturbati secondo le indicazioni della Direzione Lavori impiegando, secondo la consistenza del terreno, i seguenti tipi di campionatore: 1) campionatore a pareti sottili (tipo Osterberg) munito di pistone, avente un diametro interno non inferiore ad 80 mm., spessore da 1,5 a 2 mm e lunghezza maggiore di 600 mm; 2) campionatore rotativo a doppia parete con inserito contenitore del tipo Mazier oppure Denison con lunghezza interna maggiore di 600 mm. e diametro interno maggiore di 67 mm. L'impresa potrà proporre alla Direzione Lavori anche altri tipi di campionatori il cui utilizzo sarà subordinato all'approvazione della Direzione Lavori stessa. I contenitori a fustelle potranno essere di plastica o di acciaio (inox, plastificato o zincato) a seconda del tipo di campionatura usato, e dovranno risultare in ottimo stato di conservazione prima di essere usati per il prelievo. La fornitura dei campionatori è a totale carico della Ditta aggiudicataria e, dopo che saranno state eseguite le analisi di laboratorio richieste, questi resteranno di proprietà della Ditta stessa. I prelievi di campioni indisturbati devono essere effettuati subito dopo una preventiva e accurata pulizia, con metodi adeguati, del fondo del foro. I campioni

così prelevati devono essere immediatamente sigillati con paraffina fusa, repertoriati e sistemati in idonei contenitori con accurato imballo che li preservi da ogni danneggiamento. Sia sul campione che sul contenitore verrà applicata una etichetta in cui saranno indicati in modo indelebile:

- designazione del cantiere
- designazione del foro di sondaggio
- eventuale numero di ordine del campione
- profondità del prelievo (da/a) - orientamento (alto/basso)
- data di prelievo.

Nel rapporto da consegnare alla Direzione Lavori devono essere riportati i dati relativi al campionamento eseguito con le seguenti annotazioni:

- tipo di campionatore e sue dimensioni;
- metodo di infissione del campionatore;
- condizioni di prelievo; - lunghezza del campione.

Tutti i campioni di cui ai commi precedenti devono essere indicati, con le rispettive quote di prelievo, nel profilo stratigrafico di ogni sondaggio da consegnare alla Direzione Lavori. I campioni devono risultare della lunghezza utile necessaria per l'esecuzione delle analisi di laboratorio. L'impresa dovrà quindi scegliere il tipo di campionatore in relazione alla consistenza e durezza del terreno da campionare. Non potranno essere contabilizzati campioni che non presentano una lunghezza utile pari ad almeno 40 cm (con particolare riferimento ai terreni coesivi).

## **ART. 9: PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO**

### ***Generalità***

Requisiti generali del laboratorio Il laboratorio di Prova dovrà essere competente per l'esecuzione delle prove in programma, dovrà disporre di personale tecnico in numero sufficiente con adeguata formazione e aggiornamento facente capo ad un responsabile al quale dovrà fare riferimento la Direzione Lavori.

### ***Locali di prova***

L'ambiente in cui le prove vengono eseguite non deve in alcun modo invalidarne i risultati né influenzare le misure: i locali di prova dovranno essere opportunamente protetti da condizioni anomale quali temperatura, polveri, umidità, vapori, vibrazioni, disturbi o interferenze elettromagnetiche, dovranno essere sufficientemente spaziosi e dotati di apparecchiature e sorgenti di alimentazione adeguate. In alcune situazioni (camera umida di conservazione - zona di preparazione provini e assemblaggio delle prove) i locali dovranno essere dotati di strumentazione di controllo e condizionamento ambientale. L'accesso alle zone di prova dovrà essere adeguatamente controllato e regolato.

### ***Apparecchiature di prova***

Il laboratorio di prova deve essere fornito di tutte le apparecchiature necessarie per la corretta esecuzione delle prove in programma. Tutte le apparecchiature devono essere conservate con cura e devono essere disponibili idonee procedure di manutenzione. Per le apparecchiature di prova principali dovrà essere disponibile un sistema di registrazione in cui sia riportato:

- il nome dell'apparecchiatura;
- il nome del fabbricante, l'identificazione del tipo ed il numero di serie;
- la data di acquisizione e la data di messa in servizio;
- lo stato al momento del ricevimento;
- le operazioni di manutenzione eseguite;
- i danni subiti e le riparazioni eseguite;
- copia del certificato di taratura di data non anteriore di sei mesi alla data di prova.

Copia delle schede di registrazione delle apparecchiature da utilizzare nell'ambito della Commessa dovrà essere fornita su richiesta alla Direzione Lavori. Gli strumenti di misura e le apparecchiature di prova dovranno essere sottoposte a taratura secondo un programma temporale adeguato al carico di lavoro del laboratorio, e comunque ad intervalli non superiori ai sei mesi. La taratura degli

strumenti di misura e di prova dovrà essere effettuata in modo da garantire la riferibilità delle misure effettuate alla catena metrologica internazionale.

### ***Identificazione dei campioni***

Il laboratorio presso cui saranno effettuate le prove e le analisi geotecniche dovrà essere dotato di un sistema per l'identificazione dei campioni e delle parti di campioni da sottoporre a prova. Al momento del ricevimento dei campioni si dovrà controllare la corrispondenza con le distinte o le stratigrafie di accompagnamento, segnalando immediatamente qualsiasi difformità alla Direzione Lavori. Tutti i campioni e le relative porzioni da sottoporre a prova (provini) dovranno essere chiaramente identificati da una sigla o un codice che accompagnerà il campione o il provino in tutte le fasi dell'attività di laboratorio (conservazione, preparazione dei provini da sottoporre a prova, esecuzione delle prove, preparazione della documentazione di prova e del rapporto finale di prova); dovrà inoltre essere stabilita una corrispondenza tra il codice adottato dal laboratorio per l'identificazione dei campioni e dei provini e il sistema di identificazione utilizzato durante il prelievo in sito, in modo che i risultati delle prove di laboratorio siano sempre chiaramente attribuibili.

### ***Conservazione dei campioni***

I campioni consegnati al laboratorio dovranno essere conservati in modo da non alterarne le caratteristiche originarie. All'atto della consegna si verificheranno le condizioni di sigillatura dei campioni e si segnaleranno tempestivamente alla Direzione Lavori eventuali danni alle fustelle che potrebbero aver alterato le condizioni originarie dei campioni (ovalizzazioni, deformazioni anomale, etc.). I campioni dovranno essere conservati in locali a temperatura ed umidità controllata in modo da garantire il mantenimento dei seguenti parametri ambientali: - temperatura :  $20^{\circ} \pm 2^{\circ}$  - umidità relativa  $> 95\%$  Al termine delle attività di prova i campioni residui non sottoposti a prova dovranno essere conservati in ambiente ad atmosfera controllata e potranno essere avviati a scarica unitamente ai campioni ed ai provini sottoposti a prova, idoneamente conservati, solo previa autorizzazione della Direzione Lavori.

### ***Condizioni di trattamento dei campioni***

In tutte le fasi dell'attività di laboratorio i campioni e le relative porzioni da sottoporre a prova dovranno essere trattati e manipolati in modo di minimizzare il disturbo ad essi arrecato e di alterarne il meno possibile le caratteristiche e le proprietà naturali che devono essere determinate o investigate. In particolare si dovrà avere la massima cura per evitare di:

- alterare significativamente il contenuto d'acqua;
- modificare la struttura del terreno;

- applicare sollecitazioni tali da alterare lo stato tensionale residuo;
- modificare la composizione granulometrica del terreno.

Risulta di conseguenza necessario che le operazioni di apertura, descrizione, selezione dei materiali e preparazione dei provini siano effettuati in ambienti con temperatura intorno ai 20° ed umidità non inferiore al 75%, meglio se ad atmosfera controllata; in ogni caso le condizioni ambientali della zona di preparazione dei provini devono essere tali da assicurare variazioni del contenuto d'acqua non superiori all'1 %. In linea di principio l'inizio delle analisi o prove programmate dovrà immediatamente seguire l'apertura dei campioni; nel caso in cui l'inizio delle attività di prova debba essere necessariamente procrastinato, i provini già confezionati, opportunamente siglati e sigillati, dovranno essere conservati nel locale ad atmosfera controllata utilizzato per la conservazione dei campioni. Durante le fasi di montaggio e di avvio delle prove dovrà essere garantito il mantenimento delle condizioni originarie dei campioni, segnalando le eventuali variazioni connesse alle procedure di prova ed evitando ogni tipo di modificazione incontrollata.

#### ***Modifiche al programma di prove***

Le prove di laboratorio dovranno essere eseguite secondo il programma di prove di laboratorio contenuto nel presente capitolato d'Appalto. Se tuttavia in fase di apertura ei campioni si dovessero riscontrare incongruenze tra il tipo di materiale campionato

e le prove indicate in programma o qualora la qualità del campione rendesse poco attendibili i risultati delle prove previste (eccessivo rammollimento, essiccazione, deformazione evidente) il laboratorio interromperà il programma di prova e comunicherà immediatamente alla Direzione Lavori gli inconvenienti riscontrati in modo da adeguare il programma di prove alla effettiva qualità e tipologia dei campioni disponibili. A tale proposito il laboratorio dovrà comunicare alla Direzione Lavori il programma temporale delle attività in modo che sia possibile presenziare all'apertura dei campioni al fine di concordare eventuali modifiche al programma di prove. In nessun caso il laboratorio potrà proseguire nel programma di prove o modificare il programma di prove senza la preventiva autorizzazione della Direzione Lavori.

#### ***Rapporti con la Direzione Lavori***

Oltre quanto già riportato in precedenza il responsabile del laboratorio dovrà comunicare alla Direzione Lavori qualsiasi problema o inconveniente che dovesse insorgere durante l'effettuazione delle prove in programma.

#### ***Normative di riferimento***

Le prove saranno eseguite, salvo diversa indicazione, in accordo agli standard di prova indicati nelle presenti norme tecniche. Di seguito, per ciascuna prova elencata, viene riportata la normativa

di riferimento a cui il laboratorio dovrà di regola attenersi nell'esecuzione delle prove, unitamente ad alcune indicazioni sulle modalità di prova; l'eventuale esecuzione delle prove secondo standard o normative alternative a quelle indicate nelle presenti norme tecniche dovrà in ogni caso essere preventivamente autorizzato dalla Direzione Lavori. Nei capitoli relativi alle modalità di prova delle presenti norme tecniche non si forniscono istruzioni operative dettagliate, per le quali si rimanda agli standard di riferimento, ma si sottolineano aspetti dei procedimenti di prova ritenuti particolarmente significativi per la corretta conduzione delle stesse. In ogni caso la normativa di riferimento seguita per l'esecuzione delle prove dovrà essere indicata nel rapporto di prova.

### ***Documentazione da consegnare***

Alla consegna dei certificati di prova dovrà essere fornita anche una sintesi che riporterà i risultati principali ottenuti dalle singole prove. Tale sintesi, espressa in un quadro riepilogativo generale, dovrà contenere la sigla identificativa del campione e la profondità di prelievo, le percentuali delle diverse frazioni granulometriche, i valori dei

limiti di consistenza e dell'indice di plasticità, le classificazioni AGI, USCS e CNR-UNI

10006, il contenuto d'acqua e il peso di volume naturale, i valori di  $c$  e  $\phi$  ottenuti dalle prove di taglio diretto. Nei capitoli seguenti delle presenti norme tecniche viene indicata la documentazione minima da fornire per ciascuna prova o analisi eseguita. In ogni caso il rapporto finale di prova dovrà comprendere almeno le seguenti informazioni:

- il nome e l'indirizzo del laboratorio di prova;
- l'identificazione univoca del rapporto di prova, di ciascuna sua pagina e del numero totale delle pagine;
- il nome ed indirizzo del Committente;
- l'identificazione dei campioni;
- la data di ricevimento dei campioni e la data di prova;
- lo standard di riferimento seguito per l'esecuzione delle prove;
- tutte le misure, gli esami e i loro risultati, corredati di tabelle, grafici, disegni e fotografie e tutte le anomalie individuate;
- la firma del responsabile del rapporto di prova e la data di emissione.

I risultati di tutti i calcoli e le determinazioni eseguite dovranno essere espressi in opportune unità SI, con relative multipli o sottomultipli.

#### IV. DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE FISICHE (PROVE DI IDENTIFICAZIONE)

##### *Apertura e descrizione Geotecnica di 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 scoticatura 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 identificazione 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 della fustella e del campione estruso. Il modulo sarà corredato dalla documentazione fotografica del campione.

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

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

Normative e specifiche di riferimento:

- ASTM D 2216 - 92 - Standard Test Method for Laboratory Determination of Water

(Moisture) Content of Soil and Rock. 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 105° ed espresso in percentuale rispetto al peso del campione essiccato, dovrà essere effettuata su campioni o porzioni di campioni che non abbiano subito significative variazioni di umidità (rammolliti o essiccati) rispetto alle condizioni naturali.

***Documentazione da consegnare***

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

identificazione completa del campione sottoposto a prova;

valore percentuale del contenuto d'acqua espresso alla prima cifra decimale;

documentazione delle pesate eseguite;

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.

***Determinazione della massa volumica apparente (peso di volume naturale)***

La prova consiste nella determinazione della massa volumica apparente di un terreno, ottenuto come rapporto tra la massa di un provino 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 da consegnare***



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;
- documentazione delle pesate eseguite e delle dimensioni dei provini;
- 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.

#### ***Determinazione dei limiti di consistenza***

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.

#### ***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 della Cucchiara 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 sulla Cucchiara:  $< 0.1$  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. Solo nel caso di quantità insufficienti di materiale si potrà adottare il metodo a punto singolo, con esecuzione di almeno due determinazioni, e previo preventivo assenso

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

### ***Documentazione da consegnare***

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

identificazione completa del campione sottoposto a prova;

risultato delle determinazioni espresse come valori percentuali con indicazione della prima cifra decimale;

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.

### ***Analisi granulometrica per vagliatura***

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

### ***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

### ***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 300 mm, scelti tra i seguenti termini in funzione della dimensione massima dei granuli: n° 200, n° 100, 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	
<i>Dimensione massima granuli [mm]</i>	<i>Massa minima campione [g]</i>
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 da consegnare*
- *La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:*
- *identificazione completa del campione sottoposto a prova;*
- *diametro massimo del campione analizzato;*
- *quantità di materiale analizzato;*
- *tabella con indicazione della percentuale di materiale trattenuto a ciascun setaccio;*
- *diagramma semilogaritmico % di trattenuto - diametro;*
- *classificazione granulometrica del materiale analizzato;* • *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. Analisi granulometrica per sedimentazione*

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.

### ***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 francamente 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 da consegnare***

- La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:
- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- quantità di materiale analizzato;
- data di preparazione della soluzione disperdente;
- tabella con indicazione della percentuale di materiale trattenuto in corrispondenza di ciascun diametro;

- Diagramma semilogaritmico % - diametro;
- classificazione granulometrica del materiale analizzato;
- documentazione delle letture di densità e temperature eseguite;
- 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.

## DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE FISICO- MECCANICHE

### ***Prova di taglio diretto consolidata - drenata***

La prova consiste nella determinazione dell'angolo di attrito residuo con restituzione delle curve di taglio/deformazione e sforzo di taglio/spostamento orizzontale 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 - Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions.

### ***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 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.

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 20% 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:

<u>SCORRIMENTO A ROTTURA</u>	
<i>Tipo di terreno</i>	<i>Scorrimento a rottura [mm]</i>
argille tenere	8
argille sovraconsolidate	2 ÷ 5
argille molto sovraconsolidate	1 ÷ 2
sabbie	1 ÷ 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.

Al termine della fase di rottura si procederà alla determinazione della resistenza

residua effettuando almeno cinque 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 20% 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).

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione e dei provini sottoposti a prova;
- dimensioni iniziali dei provini;
- peso di volume naturale, contenuto d'acqua e grado di saturazione iniziale e finale dei provini;
- tabella con la progressione di carico adottata in fase di consolidazione per ciascun provino;
- tabella con i valori della variazione di altezza e dei relativi tempi di acquisizione durante la fase di consolidazione per ciascun provino;

- diagramma deformazione verticale - logaritmo del tempo, o in alternativa deformazione verticale - radice quadrata del tempo per ciascun provino;
- valore del tempo di fine consolidazione  $t_{100}$  di ciascun provino;
- altezza dei provini al termine della fase di consolidazione;
- velocità di deformazione adottata nella fase di rottura;
- tabella di sintesi con i valori di resistenza al taglio, scorrimento orizzontale e deformazione verticale registrati per ciascun provino in 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  $\phi'$ ;
- documentazione delle misure effettuate;

## **ART. 10: INSTALLAZIONE DI ATTREZZATURE**

### **I. FORNITURA E INSTALLAZIONE DI PIEZOMETRO A TUBO APERTO DI DIAMETRO NON INFERIORE A MM 40**

Il piezometro a tubo aperto è costituito da tubi PVC inseriti di norma entro fori di sondaggio in presenza di una falda acquifera in terreni a permeabilità medio alta ( $K > 10^{-6}$  m/sec) per la misura di livello della falda stessa.

#### **A. attrezzatura**

Lo strumento è costituito da:

- Tubi filtranti in PVC, di spessore pari a  $1 \div 2$  mm, con finestre trasversali con apertura di



0,4-1,0 mm, diametro interno compreso tra 40 e 80 mm, con giunzione a manicotto esterno. I tubi dovranno essere forniti in spezzoni di lunghezza non superiore a 3 metri.

➤ Tubi ciechi in PVC, di spessore pari a  $1 \pm 2$  mm, con diametro interno compreso tra 40 e 80 mm e con le estremità filettate e giuntate con manicotti esterni; questi tubi dovranno avere le medesime dimensioni dei tubi finestrati.

Se destinato al prelievo di campioni di fluido per analisi chimico - fisiche, si installeranno tubi del diametro interno int 100 mm, in PVC con rivestimento in granulare siliceo; l'uso di tubi in PVC non rivestito deve in questo caso essere concordato con la D.L. e chiaramente segnalato nella documentazione della avvenuta installazione.

## B. Installazione

### B1. Controlli ed operazioni preliminari

Prima della posa in opera:

- verificare che i tubi non presentino lesioni, schiacciamenti o curvature dovute al trasporto o all'immagazzinamento, o eventuali altri difetti di fabbricazione;
- verificare che i filetti alle estremità dei tubi ed i manicotti non presentino anomalie tali da compromettere il buon accoppiamento dei tubi;
- montaggio dei manicotti di giunzione ad una estremità dei tubi con sigillatura mediante sigillanti idraulici;
- preparazione del materiale necessario alla formazione degli strati filtranti e di sigillatura (o impermeabilizzazione);
- per lo strato filtrante devono essere utilizzati sabbia e ghiaietto puliti con granulometria 1-4 mm;
- per la sigillatura (o impermeabilizzazione) devono essere utilizzate palline di bentonite precomprese con diametro 1-2 cm e ghiaietto da 2-3 cm. B2.

### Modalità esecutiva

- La posa in opera dei piezometri deve essere eseguita secondo le seguenti modalità: verificare con lo scandaglio la quota del fondo foro che dovrà essere almeno 50 cm maggiore della profondità di posa della cella;
- lavare accuratamente il foro con acqua pulita immessa dal fondo fino a che non esca
- acqua limpida;
- verificare nuovamente la quota del fondo foro con lo scandaglio;
- sollevare il rivestimento di circa 70 cm;

- se il piezometro non è previsto a fondo foro ma ad una quota intermedia, prima dell'immissione della sabbia di fondo foro si dovrà riempire il tratto di sondaggio non utile con una miscela di acqua cemento e bentonite (dosaggio a/c/b rispettivamente 100/50/10 in peso), sigillandola infine con un tappo di bentonite;
- immettere della sabbia grossa o del ghiaietto fine ( $\varnothing = 1\div 4$  mm) per un'altezza di circa 50 cm dal fondo, controllando con lo scandaglio la quota raggiunta;
- inserimento del tubo piezometrico nel foro di sondaggio, aggiungendo progressivamente gli spezzoni di tubo secondo la sequenza tratti finestrati/tratti ciechi prevista dalla D.L. e sigillando le giunzioni con sigillanti idraulici. La giunzione dei tubi deve essere realizzata senza forzare eccessivamente l'avvitamento dei manicotti filettati al fine di evitare la deformazione delle estremità dei tubi e la conseguente difficoltà di passaggio della sonda di misura; Il tratto finestrato dovrà essere protetto con geosintetico (tessuto non tessuto di luce non superiore a 0,5 mm) e l'estremità inferiore del tubo sarà chiusa con apposito tappo di fondo;
- posa di sabbia grossa ( $\varnothing = 1\div 4$  mm) pulita o materiale granulare pulito (ghiaietto fine - $\varnothing = 2\div 4$  mm) attorno al tubo fino a risalire di 1 m dall'estremità superiore del tratto finestrato, ritirando man mano la colonna di rivestimento, senza l'ausilio della rotazione, con l'avvertenza di controllare che il piezometro non risalga assieme al rivestimento;
- formazione di un tappo impermeabile superiore, costituito da palline di bentonite preconfezionate ( $\varnothing = 1\div 2$  cm) in strati di 20 cm alternate a straterelli di ghiaietto di 2÷3 cm, per lo spessore complessivo di 1 m, ritirando man mano i rivestimenti (senza l'ausilio della rotazione) e costipando i livelli di ghiaietto;
- riempimento del tratto del foro compreso tra l'estremità superiore del tappo impermeabile e il piano campagna con malta di cemento e bentonite (dosaggio a/c/b rispettivamente 100/50/10 in peso) o altro materiale idoneo;
- sistemazione e protezione del piezometro con la creazione di un pozzetto in lamiera verniciata, ben cementato nel terreno, munito di coperchio con lucchetto e chiavi che verranno consegnate alla D.L.; nel caso di installazione in luoghi aperti al traffico veicolare o pedonale (strade, piazzali, marciapiedi), e solo su specifica richiesta della D.L., in luogo del chiusino standard dovrà essere installato idoneo chiusino carrabile, posto in opera a filo della pavimentazione esistente;
- verifica dell'assenza di ostruzioni o di impedimenti ed eventuale spurgo del tubo piezometrico.

Nei casi di installazione di piezometri nell'ambito di indagini di tipo ambientale e in tutti i casi in cui sia previsto il prelievo di campioni d'acqua da sottoporre ad analisi chimiche, particolare cura dovrà essere posta nell'utilizzo dei materiali necessari alla formazione degli strati filtranti e di sigillatura e dell'acqua delle operazioni di lavaggio al fine di evitare qualsiasi contaminazione dell'acqua di falda. Nei giorni successivi all'installazione, di norma, devono eseguirsi alcune letture (minimo n. 3) per controllare la stabilizzazione del livello piezometrico, la prima delle quali deve essere rilevata almeno un paio di ore dopo l'installazione del piezometro e le altre, successivamente, almeno una volta al giorno per tutta la durata del cantiere.

### C. Misure

Per la misura manuale del livello di falda nei piezometri a tubo aperto deve essere impiegato un idoneo indicatore di livello ("freatimetro"). Tale indicatore deve essere composto da un puntale rilevatore e da un cavo metrato/centimetrato avvolto su rullo. Deve essere dotato di un avvisatore acustico/luminoso che segnali il contatto del puntale con la superficie del pelo libero dell'acqua e di un cavo metrato/centimetrato per determinare la profondità del pelo libero rispetto alla sommità del tubo di misura.

Le letture manuali con indicatore di livello devono essere eseguite secondo il seguente schema:

- infilare il sensore dell'indicatore nel tubo di misura del piezometro ed accendere la sonda;
- calare lentamente il sensore nel tubo facendo ruotare il rullo avvolgicavo ed evitando che scenda per peso proprio;
- quando l'indicatore segnala l'avvenuto contatto con l'acqua, estrarre leggermente la sonda fino alla cessazione del segnale acustico e/o luminoso;
- calare di nuovo lentamente il sensore fino al contatto e leggere la quota sul cavo;
- ripetere le operazioni almeno 3 volte, e comunque fino a che la quota possa essere definita con una precisione pari a 5 mm;
- annotare la quota così rilevata sul modulo di lettura. Lo strumento di misura da cui dipende la precisione della lettura (sonda a scandaglio) deve essere tarato con le modalità esecutive di seguito riportate. La taratura ordinaria deve essere operata mensilmente sul cavo metrato per mezzo di una bindella metrica di riferimento. Lo strumento di lettura deve essere assoggettato solo a semplici controlli prima e dopo l'esecuzione di ogni lettura giornaliera. I due controlli a priori e a posteriori devono avvenire comunque nel corso dello stesso giorno solare. Essi devono consistere nell'immersione dello strumento in acqua con verifica dell'affondamento del sensore al momento della chiusura del contatto. La sonda deve essere inserita nell'apposito tubo di misura, munito di una tacca di riferimento distante esattamente

un metro dal pelo libero dell'acqua. Tra il punto di contatto e la tacca del primo metro deve essere verificata una distanza di 1 m 2 mm. Nel caso in cui ciò non avvenga, si deve provvedere alla sostituzione della sonda e della sua eventuale nuova taratura. I controlli devono inoltre comprendere una attenta ispezione visiva dell'integrità della sonda nonché la verifica della carica delle batterie e dell'efficienza del sistema di avviso acustico e/o luminoso. Qualora si riscontrino piegature, incisioni della guaina, abrasioni e/o traslazioni di tacche di riferimento, la sonda deve essere sostituita. Non sono ammesse giunzioni di qualsiasi tipo sul cavo.

***Documenti da consegnare.***

Al completamento delle operazioni dovranno essere riportate nel documento stratigrafico del relativo sondaggio o della perforazione eseguita, per ogni piezometro installato, tutte le informazioni sulle relative misure e sul livello piezometrico rilevato, comprendenti:

- informazioni generali (profondità, quota bocca foro m slm ecc.);
- schema, tipo e posizione del piezometro installato;
- quote del tratto cieco e di quello finestrato;
- quota assoluta del bordo superiore del pozzetto di protezione;
- tabella con valori delle letture eseguite e relative date fino alla consegna.

## II. PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA ESEGUITA CON MASSA BATTENTE PESANTE 63,5-73 KG (DPSH)

La prova consiste nell'infissione per battitura di una punta conica metallica nel terreno, contando il numero di colpi necessari per la penetrazione di ciascun tratto di lunghezza prestabilita. La punta conica è avvitata all'estremità di una batteria di aste metalliche e la battitura avviene con un maglio che cade liberamente da una altezza costante.

A. Attrezzatura Gli standard per tale prova sono definiti da due associazioni di settore:

AGI - Associazione Geotecnica Italiana;

ISSMFE - International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering.

Tali standard sono differenti e vengono di seguito descritti. Secondo l'AGI, l'attrezzatura sarà la seguente:

1) Batteria di aste interne ad una seconda batteria di tubi esterni di rivestimento con scarpa sagomata a tagliente alla base:

- Lunghezza aste:  $L = 12 \text{ m}$
- Peso per metro lineare aste:  $M = 4,6 \text{ 0,5 kg}$  Diametro esterno aste interne: est 34 mm
- Diametro esterno rivestimento: est = 48 mm
- Diametro interno rivestimento: int = 38 mm
- Peso per metro lineare rivestimento:  $M = 5,3 \text{ kg}$

(l'intercapedine tra int della scarpa e le aste sarà di 0,20,3 mm; tra le aste e il rivestimento, sopra la scarpa, di 2 mm circa).

2) Punta conica collegata alla base delle aste interne:

- Angolo apertura: =  $60^\circ$
- Diametro base:  $b = 50,8 \text{ mm}$

3) Dispositivo di infissione con sollevamento e sganciamento automatico con le seguenti caratteristiche:

- massa battente:  $M = 73 \text{ kg}$  altezza di caduta:  $h = 750 \text{ mm}$
- testa di battuta:  $\leq 55 \text{ kg}$

L'asta, alla cui estremità è collegata la punta conica, deve essere perfettamente liscia e calibrata negli

ultimi 50 cm. L'altezza di caduta nel corso della infissione dei rivestimenti non è vincolante.

#### B. Elaborazione

Il numero di colpi necessari all'avanzamento dovrà essere espresso anche come resistenza alla penetrazione dinamica  $q_d$  (MPa) che tiene conto delle caratteristiche dimensionali e di peso dell'attrezzatura impiegata. L'espressione da utilizzare è la seguente:

$$q_d = \frac{M}{M + M'} \cdot \frac{M \cdot g \cdot H}{A \cdot e} \quad [MPa]$$

Con:

M = massa del maglio

M' = massa complessiva di testa di battuta, asta di guida del maglio, dispositivo di sgancio e colonna di aste

g = accelerazione di gravità

H = altezza di caduta del maglio a = area della sezione trasversale della punta

e = penetrazione media per colpo (penetrazione di riferimento divisa per il numero di colpi)

Documenti da consegnare.

Al termine dell'indagine dovranno essere consegnati i seguenti elaborati:

a) Relazione conclusiva contenente la descrizione di tutte le operazioni eseguite e dei risultati ottenuti;

b) Planimetria, in scala non inferiore a 1:5000, recante l'ubicazione precisa di tutte le prove effettuate;

c) Elaborati grafici e tabellari riportanti, per ciascuna prova, i seguenti dati:

- caratteristiche generali dell'attrezzatura impiegata tipo di penetrometro, dimensioni della punta conica, diametro e peso delle aste e del rivestimento, peso della guida e della testa di battuta, massa del maglio e altezza di caduta;
- tabella dei dati rilevati per ciascuna verticale di prova della resistenza alla punta (N20 o N30) e della resistenza al rivestimento (Nr);

- grafico della resistenza alla punta  $N_p$  ed al rivestimento  $N_r$  in funzione della profondità;
- grafico e tabella della resistenza alla penetrazione dinamica  $q_d$  in funzione della profondità;
- note ed osservazioni relative all'esecuzione di ciascuna verticale di prova.

Riferimenti normativi:

Associazione Geotecnica Italiana (1977). Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.

ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing (1988). Dynamic Probing (DP): International Reference Test Procedure (secondo la terminologia ISSFE, questa prova rientra nel tipo super-pesante: DPSH, in quanto con maglio maggiore di 60 kg).

UNI ENV 1997-1 (2005) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali

UNI ENV 1997-2 (2007) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo

UNI EN ISO 22476-2 (2012) -Indagini e prove geotecniche - Prove in sito - Parte

2 Prova di penetrazione dinamica