



# Commissario Straordinario di Governo

art.1 comma 154 Legge 145/2018



## VALUTAZIONE DI VULNERABILITÀ SISMICA DIGA DI ACERENZA (PZ) PIANO DI INDAGINI DIAGNOSTICHE E RILIEVI DI DETTAGLIO

**CIG: 87704124F0 - CUP: H39H17000060006**

Titolo elaborato: <b>DISCIPLINARE INDAGINI STRUTTURALI</b>		Elaborato: <b>REL. 11</b>	
<b>Commissario Straordinario di Governo</b> <i>art. 1 comma 154 Legge 145/2018</i>  <b>Dott.ssa Geol. Vera Corbelli</b>		<b>Sub Commissari:</b>  ing. Pasquale Coccoaro ing. Leonardo Pace	
		<b>RUP:</b> <b>Supporto al RUP:</b>  ing. Sergio Nicola Di Salvo dott. geol. Claudio Berardi	
<b>Il Responsabile della Progettazione</b>		ing. Giuseppe Maria Gimaldi	
<b>Gruppo di Lavoro</b>		ing. Luisa Alterio ing. Alessandro Corvese ing. Tommaso Iannotta  ing. Raffaele Antropoli ing. Simona Luongo ing. Domenico Marrazzo	
<b>Codice Elaborato</b>		<b>Data :</b>	
CS_ACE_VVS_11_PIS_REL_11_00		<b>MAGGIO 2021</b>	



*Commissario Straordinario di Governo*  
*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

## **SOMMARIO**

CAPITOLO I -	OGGETTO DELL'APPALTO E DESIGNAZIONE DELLE INDAGINI.....	1
ART. 1:	OGGETTO DELLA PROCEDURA .....	1
ART. 2:	AMMONTARE DEI LAVORI.....	1
ART. 3:	DESIGNAZIONE SOMMARIA DELLE INDAGINI.....	2
ART. 4:	OPERE INCLUSE NELL'APPALTO.....	2
ART. 5:	CONDIZIONI DI APPALTO .....	3
ART. 6:	VARIAZIONI ALLE INDAGINI PREVISTE.....	3
CAPITOLO II -	DISPOSIZIONI PARTICOLARI RIGUARDANTI L'APPALTO.....	4
ART. 7:	OSSERVANZA DI LEGGI E DI NORME .....	4
ART. 8:	DOCUMENTI CHE FANNO PARTE DEL CONTRATTO .....	4
ART. 9:	ULTERIORI ONERI, OBBLIGHI E RESPONSABILITÀ DELL'APPALTATORE .	6
ART. 10:	CONSULENZA SPECIALISTICA DA PARTE DI PROFESSIONISTI ESTERNI	7
ART. 11:	VALUTAZIONE DELL'IMPORTO OFFERTO .....	7
ART. 12:	ORDINE DA TENERSI NELL'ANDAMENTO DELLA CAMPAGNA .....	8
ART. 13:	ULTIMAZIONE DEI LAVORI.....	9
CAPITOLO III -	PRESCRIZIONI DI CARATTERE TECNICO.....	9
ART. 14:	DESCRIZIONE GENERALE DEI MANUFATTI INTERESSATI DALLA CAMPAGNA DI INDAGINE .....	9
ART. 15:	CONOSCENZA DEI MANUFATTI E DEGLI EDIFICI .....	9
ART. 16:	INDAGINI DIAGNOSTICHE PER L'IDENTIFICAZIONE DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI .....	9
ART. 17:	PROVE GEOFISICHE SUPERFICIALI IN SITU.....	18
ART. 18:	VARIAZIONI O MODIFICHE AL PIANO A BASE DI GARA .....	21
ART. 19:	RELAZIONE SULLE INDAGINI DI IDENTIFICAZIONE STRUTTURALE.....	21
ART. 20:	RELAZIONE SULLE CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	22
ART. 21:	INDAGINI GEOTECNICHE - GEOGNOSTICHE .....	22



*Commissario Straordinario di Governo*  
*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

## **DISCIPLINARE TECNICO**

### **CAPITOLO I- OGGETTO DELL'APPALTO E DESIGNAZIONE DELLE INDAGINI**

#### **ART. 1: OGGETTO DELLA PROCEDURA**

Oggetto della presente procedura è l'esecuzione di una campagna di indagini diagnostiche da eseguirsi presso la diga di Acerenza.

L'obiettivo è quello di pervenire ad un livello di conoscenza delle strutture investigate del tipo "adeguato" ovvero "LC2".

I risultati del rilievo e delle indagini di identificazione dei materiali saranno utilizzati per la successiva fase di modellazione strutturale propedeutica alla verifica di vulnerabilità sismica delle opere accessorie dei manufatti posto a servizio degli invasi di che trattasi.

La campagna di indagine dovrà condursi nel rispetto della Normativa Tecnica Italiana, D.M. Infrastrutture 17 gennaio 2018 e della Circolare esplicativa n. 7/C.S.LL.PP. del 2 febbraio 2019, oltre che delle Norme UNI specifiche del settore, nonché nel rispetto delle norme di sicurezza previste nel D.Lgs 81/2008 e ss.mm.ii.

È esplicito patto contrattuale che tutti i lavori presenti nel presente appalto debbano essere eseguiti con i più moderni e perfezionati strumenti e mezzi meccanici ed elettronici, di tale produttività e numero da assicurare la tempestiva ultimazione delle prestazioni richieste eseguite a regola d'arte, entro i termini stabiliti nel presente Disciplinare e secondo le indicazioni impartite dal RTP incaricato della verifica di sicurezza sismica.

#### **ART. 2: AMMONTARE DEI LAVORI**

L'importo complessivo dei lavori oggetto del presente appalto è da definirsi a seguito di compilazione da parte del concorrente della LISTA OFFERTE.

L'importo, s'intende onnicomprensivo per le maggiorazioni dovute a:

- **Oneri di cantierizzazione e sicurezza nei siti di indagine;**
- **Indagini da eseguire in siti dove non è possibile interrompere le attività lavorative;**
- **Lavorazione in situazione di disagio;**
- **Oneri assicurativi di qualsiasi tipo comunque obbligatori per l'attività da svolgere.**

L'importo contrattuale corrisponde all'importo del servizio posto a base d'asta di cui alla lettera d), al quale deve essere applicato il ribasso percentuale offerto dall'aggiudicatario in sede di gara, aumentato dell'importo dei costi Diretti per la sicurezza sopra definito alla lettera c<sub>1a</sub>) non soggetto a ribasso.

**Tenendo conto che, nel corso dell'esecuzione delle indagini è prevedibile la necessità di ulteriori approfondimenti, conseguenti a possibili contraddittorietà dei primi risultati, si**



*Commissario Straordinario di Governo*  
*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

**intende compreso nel prezzo dell'appalto la maggiorazione del 10% delle indagini elencate nel computo metrico allegato al piano di indagini.**

**Le ulteriori indagini saranno eseguite secondo le indicazioni del Committente.**

**Ulteriori indagini richieste oltre tale quantità saranno compensate con le modalità descritte più avanti nel presente disciplinare prestazionale.**

### **ART. 3: DESIGNAZIONE SOMMARIA DELLE INDAGINI**

Le indagini che formano oggetto del presente appalto possono riassumersi come appresso specificato all'**art.16** del presente disciplinare.

#### **MANUFATTI ED EDIFICI IN C.A.**

- Saggi strutturali e ripristini;
- prelievo di provini cilindrici da strutture in cls;
- preparazione dei provini da sottoporre a prove di laboratorio;
- prelievo di barre di armatura;
- prova di laboratorio di trazione sulle barre di armatura;
- prova di laboratorio sulle carote di calcestruzzo estratte;
- determinazione della profondità di carbonatazione;
- indagini magnetometriche con pacometro;
- prove combinate non distruttive con METODO SONREB (Sclerometro + ultrasuono);
- prove penetrometriche su solette in c.a.;
- prova di durezza LEEB;
- prove MASW per la definizione della velocità delle onde sismiche.

### **ART. 4: OPERE INCLUSE NELL'APPALTO**

Tutte le prove ed indagini devono essere eseguite nella loro interezza e senza alcun onere aggiuntivo a carico della Stazione Appaltante.

Restano in particolare **inclusi**:

- tutte le opere edili ed impiantistiche di preparazione del sito oggetto dell'indagine come, a titolo esemplificativo, smontaggio e rimontaggio di opere edili o suppellettili, demolizione di pavimenti, rivestimenti e quant'altro necessario alla messa in luce dell'elemento strutturale.
- I ripristini dei componenti strutturali sottoposti ad indagini distruttive per prelievo delle carote, delle armature o di altri elementi strutturali di cui all'art. 16
- il ripristino delle finiture demolite e/o rimosse relativamente ai componenti strutturali indagati per le indagini in argomento.



## *Commissario Straordinario di Governo*

*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

**Per l'esecuzione delle indagini il Laboratorio autorizzato potrà usufruire della rete elettrica di impianto, salvo diverse indicazioni da parte del Gestore della diga.**

### **ART. 5: CONDIZIONI DI APPALTO**

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

- di avere preso conoscenza delle indagini da eseguire, delle condizioni tutte del presente Disciplinare Tecnico e delle condizioni locali;
- di avere visitato i luoghi interessati dai lavori e di averne accertato lo stato dei luoghi delle strutture su cui dovranno eseguirsi le indagini, resta inteso che tale presa visione è di ordine generale e che le problematiche e le peculiarità saranno affrontate singolarmente;
- 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;
- di avere giudicato, nell'effettuare l'offerta sulla relativa lista, 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.

**Le attività di diagnostica potranno avviarsi solo dopo aver indicato planimetricamente "l'ubicazione puntuale" delle stesse in seguito ad una "Riunione Condivisa" tra la Stazione Appaltante, Ente Gestore ed Appaltatore**

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 Disciplinare o che si riferiscano a condizioni soggette a revisioni per esplicita dichiarazione del presente Disciplinare.

### **ART. 6: VARIAZIONI ALLE INDAGINI PREVISTE**

Le indicazioni di cui ai precedenti articoli debbono ritenersi unicamente come norma di massima per rendersi ragione delle indagini da eseguire.

La Stazione Appaltante si riserva perciò piena ed ampia facoltà di introdurre, nel programma degli accertamenti all'atto esecutivo, quelle varianti che riterrà opportune nell'interesse della buona riuscita e dell'economia dei lavori, senza che l'Appaltatore possa trarne motivi per avanzare pretese di compensi ed indennizzi di qualsiasi natura e specie, non stabiliti nel presente Disciplinare.

Nel caso in cui per le categorie dei lavori non risultassero i relativi prezzi dell'elenco allegato, si procederà secondo quanto stabilito dalla vigente normativa in materia di LL.PP.

L'Impresa per contro non potrà variare né modificare il programma dei lavori appaltati, senza averne ottenuto la preventiva autorizzazione scritta della Stazione Appaltante che avrà il diritto di non contabilizzare quei lavori che risultassero eseguiti in contravvenzione a tale disposizione e





*Commissario Straordinario di Governo*  
*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

diritto, altresì, di fare ripristinare, a spese dell'Impresa stessa, le condizioni preesistenti all'esecuzione di tali lavori, secondo le modalità che saranno fissate dalla Stazione Appaltante.

Con la sottoscrizione degli atti contrattuali, quindi, l'aggiudicatario si impegna a garantire quanto prescritto innanzi.

## **CAPITOLO II - DISPOSIZIONI PARTICOLARI RIGUARDANTI L'APPALTO**

### **ART. 7: OSSERVANZA DI LEGGI E DI NORME**

Per quanto non previsto e comunque non specificato dal presente Disciplinare e dal contratto, l'appalto è soggetto all'osservanza:

1. D.Lgs. 50/16 e s.m.i.
2. DPR 207/2010, per quanto non abrogato,
3. D.Lgs. 81/08 e s.m.i.,
4. DM 17/01/2018 e relativa circolare applicativa vigente – Eurocodici,
5. Circolare DG Dighe 26 luglio 2018, n.17281, ecc.
6. Circ. D.G. Dighe 3 luglio 2019, n. 16790 - Istruzioni

e successive modifiche ed integrazioni, se ed in quanto applicabili. L'appalto è, altresì, soggetto alla completa osservanza:

1. delle leggi, dei decreti e delle circolari ministeriali vigenti alla data di esecuzione dei lavori;
2. delle leggi, dei decreti, dei regolamenti e delle circolari vigenti nella Regione, Provincia e Comune nel quale devono essere eseguite le opere oggetto dell'appalto.

La sottoscrizione del contratto e del presente disciplinare, allo stesso allegato, da parte dell'Appaltatore equivale a dichiarazione di completa e perfetta conoscenza di tutte le leggi, decreti, circolari, regolamenti, norme, ecc. sopra richiamate e della loro accettazione incondizionata.

### **ART. 8: DOCUMENTI CHE FANNO PARTE DEL CONTRATTO**

Fanno parte integrante del contratto d'appalto, oltre che al presente Disciplinare d'Oneri e Tecnico delle indagini strutturali e prove di laboratorio, anche i seguenti documenti:

1. Il presente Disciplinare (CS\_ACE\_VVS\_11\_PIS\_REL\_11\_00);
2. Elaborati dattiloscritti:
  - CS\_ACE\_VVS\_00\_PIS\_ELE\_01\_00 - Elenco Elaborati
  - CS\_ACE\_VVS\_01\_PIS\_REL\_01\_00 - Piano di Indagini Strutturali
  - CS\_ACE\_VVS\_02\_PIS\_REL\_02\_00 - Computo metrico Estimativo
  - CS\_ACE\_VVS\_03\_PIS\_REL\_03\_00 - Elenco prezzi unitari
  - CS\_ACE\_VVS\_04\_PIS\_REL\_04\_00 - Analisi nuovi prezzi
  - CS\_ACE\_VVS\_05\_PIS\_REL\_05\_00 - Incidenza percentuale della manodopera
  - CS\_ACE\_VVS\_06\_PIS\_REL\_06\_00 - Incidenza dei costi indiretti della sicurezza



*Commissario Straordinario di Governo*

*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

CS\_ACE\_VVS\_07\_PIS\_REL\_07\_00 - Documento Unico di Valutazione Rischio Interferenze  
CS\_ACE\_VVS\_08\_PIS\_REL\_08\_00 - Computo della Sicurezza per DUVRI  
CS\_ACE\_VVS\_09\_PIS\_REL\_09\_00 - Quadro Economico  
CS\_ACE\_VVS\_10\_PIS\_REL\_10\_00 - Cronoprogramma  
CS\_ACE\_VVS\_11\_PIS\_REL\_11\_00 - Disciplinare Indagini Strutturali

3. Elaborati grafici:

CS\_ACE\_VVS\_12\_PIS\_TAV\_01\_00 - Sfiatore ausiliario di superficie sinistro  
CS\_ACE\_VVS\_13\_PIS\_TAV\_02\_00 - Sfiatore ausiliario di superficie sinistro – All. 1  
CS\_ACE\_VVS\_14\_PIS\_TAV\_03\_00 - Sfiatore ausiliario di superficie sinistro– All. 2  
CS\_ACE\_VVS\_15\_PIS\_TAV\_04\_00 - Sfiatore ausiliario di superficie sinistro– All. 3  
CS\_ACE\_VVS\_16\_PIS\_TAV\_05\_00 - Sfiatore ausiliario di superficie sinistro– All. 4  
CS\_ACE\_VVS\_17\_PIS\_TAV\_06\_00 - Dissipatore in Dx  
CS\_ACE\_VVS\_18\_PIS\_TAV\_07\_00 - Dissipatore in Dx – Allegato 1  
CS\_ACE\_VVS\_19\_PIS\_TAV\_08\_00 - Dissipatore in Dx – Allegato 2  
CS\_ACE\_VVS\_20\_PIS\_TAV\_09\_00 - Dissipatore in Dx – Allegato 3  
CS\_ACE\_VVS\_21\_PIS\_TAV\_10\_00 - Dissipatore in Dx – Allegato 4  
CS\_ACE\_VVS\_22\_PIS\_TAV\_11\_00 - Dissipatore in Dx – Allegato 5  
CS\_ACE\_VVS\_23\_PIS\_TAV\_12\_00 - Dissipatore in Dx – Allegato 6  
CS\_ACE\_VVS\_24\_PIS\_TAV\_13\_00 - Dissipatore in Dx – Allegato 7  
CS\_ACE\_VVS\_25\_PIS\_TAV\_14\_00 - Dissipatore in Dx – Allegato 8  
CS\_ACE\_VVS\_26\_PIS\_TAV\_15\_00 - Dissipatore in Dx – Allegato 9  
CS\_ACE\_VVS\_27\_PIS\_TAV\_16\_00 - Dissipatore in Dx – Allegato 10  
CS\_ACE\_VVS\_28\_PIS\_TAV\_17\_00 - Dissipatore in Dx – Allegato 11  
CS\_ACE\_VVS\_29\_PIS\_TAV\_18\_00 - Dissipatore in Sx  
CS\_ACE\_VVS\_30\_PIS\_TAV\_19\_00 - Dissipatore in Sx – Allegato 1  
CS\_ACE\_VVS\_31\_PIS\_TAV\_20\_00 - Dissipatore in Sx – Allegato 2  
CS\_ACE\_VVS\_32\_PIS\_TAV\_21\_00 - Dissipatore in Sx – Allegato 3  
CS\_ACE\_VVS\_33\_PIS\_TAV\_22\_00 - Dissipatore in Sx – Allegato 4  
CS\_ACE\_VVS\_34\_PIS\_TAV\_23\_00 - Dissipatore in Sx – Allegato 5  
CS\_ACE\_VVS\_35\_PIS\_TAV\_24\_00 - Dissipatore in Sx – Allegato 6  
CS\_ACE\_VVS\_36\_PIS\_TAV\_25\_00 - Dissipatore in Sx – Allegato 7  
CS\_ACE\_VVS\_37\_PIS\_TAV\_26\_00 - Dissipatore in Sx – Allegato 8  
CS\_ACE\_VVS\_38\_PIS\_TAV\_27\_00 - Dissipatore in Sx – Allegato 9  
CS\_ACE\_VVS\_39\_PIS\_TAV\_28\_00 - Dissipatore in Sx – Allegato 10  
CS\_ACE\_VVS\_40\_PIS\_TAV\_29\_00 - Sfiatore a Calice  
CS\_ACE\_VVS\_41\_PIS\_TAV\_30\_00 - Sfiatore a Calice - Allegato 1  
CS\_ACE\_VVS\_42\_PIS\_TAV\_31\_00 - Sfiatore a Calice - Allegato 2  
CS\_ACE\_VVS\_43\_PIS\_TAV\_32\_00 - Sfiatore a Calice - Allegato 3  
CS\_ACE\_VVS\_44\_PIS\_TAV\_33\_00 - Sfiatore a Calice - Allegato 4  
CS\_ACE\_VVS\_45\_PIS\_TAV\_34\_00 - Sfiatore a Calice - Allegato 5  
CS\_ACE\_VVS\_46\_PIS\_TAV\_35\_00 - Pozzo camera di manovra  
CS\_ACE\_VVS\_47\_PIS\_TAV\_36\_00 - Pozzo camera di manovra – Allegato 1



*Commissario Straordinario di Governo*  
*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

CS\_ACE\_VVS\_48\_PIS\_TAV\_37\_00 – Indagini geofisiche.

La Stazione Appaltante, si riserva di consegnare all'Appaltatore durante il corso dei lavori, nell'ordine ritenuto più opportuno, la documentazione che dovesse eventualmente occorrere per la perfetta realizzazione delle indagini.

## **ART. 9: ULTERIORI ONERI, OBBLIGHI E RESPONSABILITÀ DELL'APPALTATORE**

Oltre agli obblighi indicati nel presente Disciplinare Prestazionale, saranno a carico dell'Appaltatore gli oneri e gli obblighi seguenti:

1. Individuazione e condivisione degli interventi sulla base delle schede predisposte dalla Stazione Appaltante; Si precisa che eventuali modifiche all'ubicazione e tipologia di prova dovranno essere sottomesse all'approvazione dei tecnici della Stazione Appaltante.
2. Esecuzione di tutti i necessari sopralluoghi, finalizzati alla rilevazione dello stato di fatto dei luoghi;
3. Approntamento ed installazione dell'attrezzatura per l'esecuzione di indagini e prove;
4. Produzione, cartacea e digitale (nei formati p7m, pdf, dwg e word), dei report di prova (almeno 2 copie), dei certificati di prova, di documentazione fotografica di tutte le prove e/o indagini eseguite, con esplicito riferimento al certificato e relativi allegati, nonché al dettagliato elaborato grafico di competenza, che dovrà essere prodotto dall'aggiudicatario in formato standardizzato secondo esplicita indicazione della Stazione Appaltante.

La Stazione Appaltante garantirà, comunque, l'assistenza in cantiere (secondo disponibilità) e supporto tecnico all'aggiudicatario.

La Stazione Appaltante metterà a disposizione dell'aggiudicatario acqua ed energia elettrica per l'utilizzo di attrezzature, **salvo diverse disposizioni o impedimenti evidenziati dal Gestore diga, in tal caso tali oneri saranno a totale carico dell'aggiudicatario senza alcun onere aggiuntivo per la Stazione Appaltante.**

Sarà totale onere dell'aggiudicatario munirsi di tutte le attrezzature e apprestamenti (conformi alle vigenti norme) per il corretto e sicuro svolgimento delle operazioni di rilievo e indagine; A tal fine, ponteggi, trabattelli, ponti a bilancia, ecc.

A tal fine, l'aggiudicatario dovrà presentare – **almeno 15 gg. prima dell'inizio della campagna di indagini – apposita relazione descrittiva**, con esplicita evidenza delle indagini e rilievi e relative modalità di esecuzione, anche con esplicito riferimento alle prescrizioni di cui al D. Lgs. 81/08 e s.m.i.

Tale relazione (con relative planimetrie allegate, che saranno fornite all'aggiudicatario - anche in formato editabile - dalla Stazione Appaltante) **dovrà riportare un apposito cronoprogramma di dettaglio (date e durata indagini, rilievi e prove), al fine di consentire la redazione del DUVRI ed eventualmente dare disposizione alle figure responsabili dei siti interessati.**





*Commissario Straordinario di Governo*  
*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

**ART. 10: CONSULENZA SPECIALISTICA DA PARTE DI PROFESSIONISTI ESTERNI**

Nel caso che durante il corso delle indagini emerga la necessità di affidare ad esperti professionisti abilitati al tipo di lavoro, l'incarico di effettuare particolari rilievi e/od accertamenti necessarie all'esecuzione delle indagini strutturali o geofisiche, l'Appaltatore sarà tenuto ad ottemperare alla nomina del professionista "eventualmente" di gradimento della Stazione Appaltante.

La prestazione sarà a carico della Ditta affidataria del presente appalto.

**ART. 11: VALUTAZIONE DELL'IMPORTO OFFERTO**

L'Amministrazione ritiene in via assoluta che l'appaltatore prima di adire all'appalto:

1. abbia bene inteso che tali lavori dovranno essere eseguiti a scopo di studio e che pertanto la loro conduzione dovrà essere particolarmente accurata, tanto da permettere sempre la perfetta e completa utilizzazione a tale scopo;
2. abbia preso conoscenza delle problematiche di ordine generale delle zone ove i lavori dovranno svolgersi, previa riunione di coordinamento con il Gestore della Diga e la Stazione Appaltante;
3. abbia tenuto in considerazione le sue possibilità di attrezzature da cantiere per dare i lavori perfettamente e completamente eseguiti ed utilizzabili a scopo di studio nel tempo e secondo tutte le prescrizioni, norme, leggi e con tutti gli oneri ed obblighi di cui al presente disciplinare prestazionale;
4. abbia valutato attentamente le prescrizioni di cui al presente disciplinare tecnico ed in particolare ai precedenti artt. 2, 6 e 9.

In conseguenza, l'offerta s'intende senza restrizione alcuna accettata dall'aggiudicatario come remunerativa di ogni spesa generale o particolare, in quanto essa comprendono:

- a) i compensi per la fornitura ed il nolo di tutte le apparecchiature, strumenti, attrezzi, macchinari, mezzi d'opera, provvisionali e speciali;
- b) i compensi e le indennità per il loro carico e scarico, trasporto in cantiere e dal cantiere, spostamenti da punto a punto della stessa zona e da zona a zona;
- c) i compensi e le indennità per inoperosità di attrezzature, macchine, ecc. e del personale del cantiere derivante da necessità tecniche o da cause di forza maggiore;
- d) i compensi e le spese riguardanti la fornitura dei materiali ed il relativo trasporto;
- e) i compensi per gli operai ed ogni spesa per fornire i medesimi di attrezzi o strumenti ed utensili del mestiere e per gli adempimenti per la sicurezza ai sensi del D.Lgs.81/08 e smi;
- f) i compensi per le assicurazioni in genere;



## *Commissario Straordinario di Governo*

*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

- g) i compensi per la documentazione tecnica che dovrà essere prodotta dall'appaltatore a fine lavoro, comprensiva di relazioni, rapporti fotografici e quant'altro necessario per la perfetta comprensione del lavoro effettuato;
- h) in genere quanto occorre per dare ciascun lavoro perfettamente e completamente definito ed utilizzabile genericamente a scopo di studio e specificatamente ai fini per cui esso è stato eseguito;
- i) gli oneri necessari per eseguire il lavoro in sicurezza nel rispetto delle vigenti normative.

Il prezzo medesimo s'intende accettato dall'Appaltatore in base a calcoli di sua convenienza, a tutto suo rischio e pericolo, e quindi sono fissi ed invariabili ed indipendenti da qualsiasi eventualità, anche di forza maggiore o straordinaria, per tutta la durata dell'appalto.

Con la firma del contratto l'Appaltatore riconosce implicitamente che, nella determinazione del prezzo, l'Amministrazione appaltante ha tenuto conto sia del beneficio stesso, che di quanto può occorrere per eseguire ogni singolo lavoro in maniera perfettamente utilizzabile, genericamente a scopo di studio e specificatamente per la ricerca particolare per cui esso è stato eseguito, ed ha tenuto altresì conto di tutti gli oneri ed obblighi dell'Impresa, generici e specifici e dipendenti dall'applicazione di norme, leggi, prescrizioni e regolamenti, precisati nel presente disciplinare.

**Fatto salvo quanto riportato agli artt. 2 e 6, qualora durante l'esecuzione di indagini e prove si verifichi la necessità di dovere procedere all'esecuzione di indagini non previste nel contratto, prima dell'esecuzione delle nuove opere, devono essere pattuiti nuovi prezzi la cui determinazione dovrà essere effettuata o ragguagliando i nuovi prezzi a quelli simili compresi nel contratto o ricavandoli da nuove analisi o dal prezziario della Regione Basilicata 2020, dai prezzi di Riferimento riportati dal prezziario ANAS2020\_Manutenzione Ordinaria o da quelli della LL.PP. Regione Campania 2020, essendo questi i riferimenti già utilizzati per la redazione del Computo Metrico Estimativo di progetto.**

## **ART. 12: ORDINE DA TENERSI NELL'ANDAMENTO DELLA CAMPAGNA**

In genere l'Appaltatore avrà la facoltà di sviluppare i lavori nel modo che crederà più conveniente per darli perfettamente compiuti nel termine contrattuale purché ciò, a giudizio dei tecnici della Stazione Appaltante e del RUP, non sia pregiudizievole alla buona riuscita delle opere ed agli interessi della S.A.

La S.A. si riserva in ogni modo il diritto di ordinare l'esecuzione dei lavori nel modo che riterrà più conveniente senza che l'Appaltatore possa rifiutarsi o farne oggetto di richiesta di speciali compensi.



*Commissario Straordinario di Governo*  
*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

### **ART. 13: ULTIMAZIONE DEI LAVORI**

Per ogni Consegna su ogni singolo sito di indagine, l'ultimazione della serie di indagini previste nel sito medesimo deve essere comunicata dall'appaltatore al RUP, che – di concerto con i tecnici che hanno predisposto la campagna – procederà alle necessarie constatazioni in contraddittorio.

## **CAPITOLO III - PRESCRIZIONI DI CARATTERE TECNICO**

### **ART. 14: DESCRIZIONE GENERALE DEI MANUFATTI INTERESSATI DALLA CAMPAGNA DI INDAGINE**

La campagna di indagini coinvolge le opere accessorie a servizio dell'invaso di Acerenza. Nello specifico le opere accessorie oggetto di analisi risultano:

- Sfioratore ausiliario di superficie in sponda sinistra
- Sfioratore a calice in sponda destra
- Vasca di dissipazione a valle dello scarico di Fondo in Sponda sinistra
- Dissipatore a valle dello sfioratore a calice in sponda Destra
- Pozzo di accesso alla camera di manovra

### **ART. 15: CONOSCENZA DEI MANUFATTI E DEGLI EDIFICI**

A valle della ricerca documentale condotta sui manufatti oggetto di analisi si è potuto ricostruire la geometria degli stessi e si son ritrovati anche elaborati esecutivi strutturali, pertanto lo studio diagnostico dovrà condurre alla definizione di un livello di conoscenza LC2 del tipo adeguato, esaustivo e funzionale alle successive fasi di verifica strutturale sismica.

Le operazioni tecniche si dovranno articolare nelle seguenti attività:

- Conoscenza geometrica e prestazionale della struttura in seguito alle operazioni di rilievo geometrico-strutturale;
- Indagini strumentali (in situ ed in laboratorio) finalizzate all'identificazione meccanica dei materiali costituenti la struttura portante dei manufatti in esame.

### **ART. 16: INDAGINI DIAGNOSTICHE PER L'IDENTIFICAZIONE DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI**

**Fatte salve le prescrizioni di cui agli artt. 2, 6 e 17 del presente disciplinare**, i metodi di prova saranno del tipo distruttivo e non distruttivo ed il loro numero sarà tale da consentire il raggiungimento di un livello di conoscenza "LC2" come evidenziato negli elaborati grafici e relativa relazione sulle indagini.

Per mezzo delle indagini diagnostiche, e dei risultati delle analisi condotte in situ ed in laboratorio sui campioni prelevati, sulle base del livello di conoscenza desiderato si dovrà pervenire alla



## *Commissario Straordinario di Governo*

*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

definizione dei parametri meccanici dei materiali da adottare nel successivo livello di verifica strutturale.

Si precisa che le prove, raggruppate nel seguito per tipologia, dovranno essere eseguite nel seguente ordine: esami visivi, scassi localizzati e tutte le prove non distruttive; solo alla fine delle prove precedenti saranno eseguite le prove distruttive.

Le indagini di identificazione strutturale riguarderanno:

### **1. Rilievo geometrico**

Il primo passo propedeutico alla conoscenza dell'impianto strutturale delle opere esistenti deriva dalla fase di rilievo geometrico. Proprio in virtù delle peculiarità costruttivo-strutturali delle opere esistenti non deve limitarsi ai confini della "singola" opera, ma deve essere riferito al contesto in cui l'opera è inserita, considerato nel suo complesso. Il rilievo geometrico deve pertanto contenere tutti quegli elementi necessari a rappresentare l'articolazione, piano-altimetrica degli elementi costitutivi l'intero complesso.

Il rilievo geometrico dovrà privilegiare l'individuazione dell'esatta posizione delle pareti strutturali a ciascun livello significativo per la tipologia di opera, anche in riferimento ai livelli sottostanti e soprastanti, e l'esatta determinazione dello spessore di queste ultime.

La scala ottimale di rappresentazione è 1:50, fermo restando che per complessi di piccole dimensioni può essere opportuno adottare una scala di maggior dettaglio. In tal modo la geometria di tutti gli elementi qualificanti la distribuzione e la dimensione degli apparati portanti e non portanti (setti, divisori), il profilo e le dimensioni degli orizzontamenti e dei collegamenti, nonché la presenza di peculiarità specifiche possono essere evidenziati.

Poiché il rilievo geometrico costituirà la base di partenza dalla quale sviluppare il modello di calcolo, tutte le informazioni necessarie a tale scopo dovranno essere adeguatamente rilevate e rappresentate.

La rappresentazione dei risultati del rilievo verrà effettuata attraverso piante, alzati e sezioni e possibilmente anche mediante rappresentazioni tridimensionali (anche in forma schematica) estremamente utili ai fini di una corretta comprensione dell'articolazione degli spazi e delle varie unità strutturali, nonché propedeutiche alla successiva interpretazione critica del rilievo geometrico. A corredo e completezza degli elaborati di rilievo geometrico dovrà essere allegata una adeguata documentazione fotografica.

La lettura critica del rilievo geometrico, unita allo studio dei risultati dell'analisi dell'evoluzione diacronica del complesso di opere, è finalizzata a mettere in luce alcuni aspetti condizionanti la vulnerabilità sismica.

Per ciascun manufatto, al termine delle operazioni di rilievo l'Appaltatore consegnerà, almeno i seguenti elaborati, in formato editabile (dwg):

- Piante di tutti i livelli significativi del manufatto, adeguatamente quotate (scala 1:50)
- Prospetti
- Sezioni rappresentative quotate



## *Commissario Straordinario di Governo*

*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

### **2. Rilievo Costruttivo-Strutturale**

Partendo dal rilievo geometrico si procederà alla identificazione dello schema strutturale resistente, descrivendo puntualmente ogni elemento della struttura esaminata. Al rilievo costruttivo-strutturale devono essere dedicati elaborati grafici (e descrittivi) specifici, che prendano in esame in modo sistematico elementi costruttivi.

Il rilievo costruttivo-strutturale deve, in definitiva, consentire di identificare e localizzare quegli elementi che possono influenzare il comportamento meccanico della costruzione, così da identificare la regola costruttiva locale ed evidenziare le precarietà e le alterazioni del costruito in oggetto. Tale disamina consente anche, tra l'altro, l'attribuzione dei pesi propri e dei carichi gravanti su ogni elemento della costruzione.

Il rilievo costruttivo-strutturale può avvalersi anche dei risultati derivanti da verifiche puntuali, come saggi o prove dirette, mirate a chiarire aspetti costruttivi che il solo rilievo tradizionale, seppur di dettaglio, a volte non riesce ad appurare.

Nella dettaglio, sulla base dei disegni originali di progetto opportunamente verificati in sito, oppure del rilievo geometrico ex novo precedentemente eseguito, andranno ricostruite le seguenti informazioni e adeguatamente riportate in elaborati grafici (piante, sezioni, prospetti quotati ed in scala 1:50):

- identificazione dell'organismo strutturale;
- identificazione delle strutture di fondazione, nei limiti di quanto richiesto dalle vigenti normative;
- informazioni sulle dimensioni geometriche degli elementi strutturali;

### **3. Rilievo dello Stato di danno, dei dissesti e del degrado**

Il rilievo del quadro fessurativo risulta di estrema importanza per definire eventuali criticità presenti, imputabili a carenze del sistema strutturale nei confronti di azioni ordinarie statiche o nei confronti dell'azione sismica.

La presenza di un dissesto preesistente, imputabile a cause di natura statica (come cedimenti fondali, fuori piombo, carenze locali delle pareti in c.a., tensioni eccessive) costituisce un elemento di vulnerabilità sismica aggiuntivo, in quanto il quadro fessurativo associato al dissesto può determinare un percorso preferenziale per le lesioni, e favorire, in caso di sisma, l'attivazione di meccanismi di collasso specifici sia locali che globali.

Anche il degrado, in quanto forma di deperimento ed alterazione fisico-meccanica dei materiali costituenti, rappresenta una potenziale causa di vulnerabilità che, in caso di evento sismico, può condizionare la risposta sismica dell'opera: il rilievo, in questo caso, può essere limitato alla individuazione delle sole forme di alterazione che possono avere un impatto significativo sul comportamento degli elementi strutturali.

Quando i segni di dissesto sono imputabili all'azione sismica, il rilievo del quadro fessurativo, associato alla lettura critica del complesso di opere sotto il profilo costruttivo e strutturale, consentiranno di formulare delle prime ipotesi qualitative sulle cause che hanno ingenerato il dissesto.





## *Commissario Straordinario di Governo*

*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

Il quadro fessurativo dovrà essere rilevato e rappresentato in modo tale da consentire la disamina del dissesto per le varie componenti strutturali. Le lesioni saranno classificate secondo il loro andamento (lesioni verticali, diagonali, paraboliche e così via) nonché in relazione alla loro entità (estensione, ampiezza, se passanti o meno), andranno inoltre adeguatamente rappresentate eventuali tipologie di dissesto specifico associate a fenomeni deformativi, quali ad esempio forme di distacco, rotazione, scorrimento, spostamenti fuori dal piano, cedimenti, dei vari elementi strutturali.

In maniera simile le deformazioni andranno classificate secondo la loro natura (evidenti fuori piombo, abbassamenti, rigonfiamenti, spanciamenti, ecc.) e graficizzate in modo adeguato.

Questa prima lettura del danno fornisce un quadro sintetico del dissesto e di tutti gli elementi necessari per poter formulare un giudizio sulle cause che lo hanno generato attraverso prime valutazioni di carattere qualitativo. Al rilievo del danno (specialmente nel caso in cui sia conseguente ad un evento sismico), che rappresenta in una prima fase un mero accertamento del quadro fessurativo non ancora associato ad una precisa risposta strutturale, seguirà la sintesi interpretativa del comportamento esibito dal manufatto investigato e l'identificazione dei meccanismi di collasso attivati.

Inoltre, la lettura del danno può essere utile a finalizzare la successiva fase diagnostica (metodologie e tecniche di indagine, posizioni nelle quali effettuare le prove) e fornire informazioni sulle modifiche subite dall'opera nel corso del tempo nonché sulle sue caratteristiche strutturali e costruttive.

Nel dettaglio andranno investigati e riportati, oltre quanto già sopra-richiesti, informazioni riguardo i seguenti aspetti:

- informazioni su possibili difetti locali dei materiali;
- informazioni su possibili difetti nei particolari costruttivi;
- informazione sulla natura ed entità di eventuali precedenti danni e sulle eventuali riparazioni effettuate.

L'Appaltatore, per ciascun manufatto, dovrà restituire i risultati di quanto rilevato, consegnando alla Stazione Appaltante i file editabili in dwg almeno dei seguenti elaborati:

- Piante di tutti i livelli significativi del manufatto, adeguatamente quotate (scala 1:50), con indicazione dei danni
- Prospetti con indicazione qualitativa e quantitativa di tutto quanto rinvenuto relativamente allo stato di danno e degrado
- Sezioni rappresentative quotate
- Assonometrie tridimensionali d'insieme con graficizzazione dei meccanismi di collasso attivati o in procinto di attivarsi se presenti (anche fuori scala)
- Assonometrie di dettaglio con raffigurazione degli eventuali meccanismi locali (anche fuori scala)



*Commissario Straordinario di Governo*  
*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

**5. Saggi e rilievi dei dettagli esecutivi**

Le indagini diagnostiche riguardo la definizione delle proprietà meccaniche dei materiali dovranno essere svolte in maniera estesa e sistematica con saggi superficiali ed interni per ciascun tipo di tipologia strutturale presente.

Con l'intento di raggiungere un livello di conoscenza adeguato LC2, la normativa impone di eseguire limitate verifiche in situ dei dettagli costruttivi. In particolare la norma stabilisce che in relazione all' identificazione dei dettagli costruttivi, deve essere verificata:

- la quantità di armatura longitudinale in travi, pilastri e pareti;
- la quantità e dettagli di armatura trasversale nelle zone critiche e nei nodi trave-pilastro, parete-parete;
- lunghezze di appoggio e condizioni di vincolo degli elementi orizzontali e verticali;
- spessore del copriferro;
- lunghezza delle zone di sovrapposizione delle barre
- approfondimento delle fondazioni

Per i corpi di fabbrica in esame, gli elementi saranno indagati secondo le prescrizioni del professionista incaricato della verifica, mediante **saggi ispettivi localizzati** su pilastri/travi/solai/pareti per rilievi geometrici e dei dettagli costruttivi e/ o per il controllo in un singolo punto della tipologia di armatura, compreso rapporto di prova.

Asportazione dello strato di intonaco fino al rinvenimento del tondino di ferro, compreso il ripristino delle strutture previa spazzolatura e trattamento dei ferri con convertitore, ricoprimento con malta tixotropica, il trasporto a rifiuto di materiali di risulta, ed ogni altra fornitura, apprestamento ed onere per garantire l'esecuzione, in sicurezza, della prova a perfetta regola d'arte e secondo le disposizioni esecutive della Direzione lavori.

Sono compresi la restituzione in formato cartaceo e digitale dei risultati dei saggi e dei dettagli costruttivi verificati oltreché relativa relazione tecnica descrittiva corredata della restituzione fotografica dello svolgimento della prova durante l'esecuzione della stessa.

**Si specifica che i saggi suddetti non sono evidenziati negli elaborati grafici per tutte le opere e saranno localizzati secondo le indicazioni fornite dai tecnici incaricati dalla Stazione Appaltante.**

**6. Prelievo di provini cilindrici da strutture in cls.**

Prelievo di provini cilindrici da strutture in calcestruzzo compreso tra 40 e 100mm in relazione al diametro medio dell'inerte (diametro del campione pari a 3 volte il diametro dell'inerte) da eseguire con corona diamantata e raffreddata ad acqua fino alla profondità di 400 mm, nel rispetto delle Norme UNI 12504-1, UNI 12390-1:2002.

Il prelievi profondi da realizzarsi sulle platee delle vasche di dissipazione, sia in sponda destra che sinistra, relativamente alle indagini di TIPO G, così come indicati negli elaborati grafici (CS\_ACE\_VVS\_17\_PIS\_TAV\_06\_00) verranno condotti per profondità fino a 150cm, allo scopo di estrarre due differenti carote: la prima ricavata dallo strato più superficiale di calcestruzzo di cui è rivestita la vasca che ha profondità 80-100cm; la seconda carota verrà eseguita per estrarre un



## *Commissario Straordinario di Governo*

*art. 1, comma 154, L. 445/2018*

provino dallo strato più profondo della vasca, costituito da un diverso calcestruzzo, strato di calcestruzzo che si estende a partire da una profondità 100-150cm.

Preliminarmente al prelievo di ciascun campione cilindrico sarà eseguito il rilievo delle barre d'armatura per evitare, per quanto possibile il taglio delle stesse. Le operazioni di prelievo dovranno scongiurare l'inclusione di armature metalliche nelle carote per evitare:

- significativa riduzione della capacità resistente dell'elemento strutturale su cui si effettua il prelievo;
- l'aggravio del disturbo al campione nelle fasi di prelievo determinato dall'incremento delle vibrazioni;
- l'alterazione dei risultati della prova di compressione per la presenza di barre di armatura.

Quando la maglia delle armature è tale da non consentire il prelievo di carote prive di inclusioni, è preferibile prelevare carote con diametro minore.

Inoltre, è importante verificare nel corso dei prelievi, che la macchina carotatrice non abbia significative vibrazioni dell'asse di rotazione e che la velocità di avanzamento sia bassa, onde evitare un eccessivo danneggiamento del campione.

### Normative di riferimento:

UNI EN 12504-1:2019: Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 1: Carote - Prelievo, esame e prova di compressione

UNI EN 12390-1:2002: Prova sul calcestruzzo indurito - Forma, dimensioni ed altri requisiti per provini e per casseforme

### **7. Preparazione dei provini da sottoporre a prove di laboratorio**

La preparazione ed il taglio dei campioni dovrà avvenire in laboratorio secondo la Norma UNI EN 12390- 1:2002. Inoltre i campioni dovranno essere rettificati per ottenere facce sufficientemente piane, parallele e ortogonali all'asse del taglio secondo la norma UNI EN 12390-3:2003. I campioni una volta prelevati dovranno essere adeguatamente osservati e conservati nell'atmosfera del laboratorio per almeno 3 giorni.

### **8. Prove di laboratorio sui provini di cls**

Lo schiacciamento dei provini cilindrici da sottoporre a prova di resistenza a compressione in laboratorio dovrà avvenire secondo le Norme UNI 6131 e UNI EN 12390-3:2009, ed essere accompagnati dall'emissione del rapporto di prova da parte del medesimo Laboratorio Ufficiale accreditato dal Ministero dei trasporti e delle Infrastrutture ai sensi della L.1086/71, oltre che qualificato ai sensi della Circolare 08 settembre 2010, n. 7617/STC e/o della successiva Circolare 633/STC del 03 Dicembre 2019

La stima della resistenza cubica caratteristica a compressione del calcestruzzo ( $R_{ck}$ ) dovrà essere ai "controlli di accettazione" del calcestruzzo in opera per strutture nuove stabiliti dalle normative vigenti.

Per l'analisi si dovranno adottare i coefficienti correttivi delle formulazioni di carattere sperimentale presenti nella letteratura tecnica, tenendo conto del diametro e della snellezza del provino, della massima dimensione dell'inerte e della direzione di perforazione rispetto a quella del getto.



*Commissario Straordinario di Governo*  
*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

Normative di riferimento:

UNI EN 12390-3:2009: Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 3: Resistenza alla compressione dei provini

UNI 6131:2002: Prelevamento campioni di calcestruzzo indurito

**9. Prelievo delle barre d'armatura**

Il prelievo delle barre d'armatura da sottoporre a prove di trazione compreso il ripristino della barra e l'uso di malta espansiva dovrà avvenire secondo la norma UNI EN ISO 6892:2009.

È importante che il prelievo venga effettuato su elementi poco sollecitati ovvero su barre secondarie utilizzando sega diamantata ad acqua per il taglio del cls e della barra stessa. Operando su una trave, sarà opportuno prelevare barre non sollecitate a trazione.

**Alle estrazioni ed ai prelievi dovrà seguire un tempestivo ed attento ripristino della configurazione originaria dell'elemento strutturale ad onere dell'appaltatore.**

In conformità alla suddetta norma UNI, lo spezzone di barra da sottoporre a prova dovrà avere una lunghezza pari a circa 450mm.

Normative di riferimento:

UNI EN ISO 6892:2009: Materiali metallici - Prova di trazione - Parte 1: Metodo di prova a temperatura ambiente

**10. Prove di laboratorio a trazione sulle barre di armatura**

La prova di trazione da eseguirsi nel rispetto della Norma UNI EN ISO 6892-1:2009 e del D.M. 14.01.2008, dovranno consentire di ottenere informazioni circa la deformabilità assiale delle barre, la tensione di snervamento e di rottura.

Normative di riferimento:

UNI EN ISO 6892:2009: Materiali metallici - Prova di trazione - Parte 1: Metodo di prova a temperatura ambiente

**11. Determinazione della profondità di carbonatazione**

Ai fini della valutazione del degrado del calcestruzzo e della corrosione dei ferri di armatura, dovranno essere eseguite misure della profondità di carbonatazione secondo la Norma UNI 9944:1992, mediante l'osservazione del viraggio della fenolftaleina, che in ambiente basico, ovvero in assenza di carbonatazione si colora di rosso-violetto.

Normativa di riferimento:

Norma UNI 9944:1992 - "Corrosione e protezione dell'armatura del calcestruzzo. Determinazione della profondità di carbonatazione e del profilo di penetrazione degli ioni cloruro nel calcestruzzo"



## *Commissario Straordinario di Governo*

*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

### **12. Ripristini elementi strutturali in c.a.**

Particolare cura dovrà essere posta nel ripristino della capacità resistente originaria dell'elemento strutturale. Nel caso del prelievo delle carote di calcestruzzo si dovrà provvedere al riempimento dei fori mediante calcestruzzo in opera o malte cementizie a ritiro compensato,

Le malte speciali a base cementizia (espansive, autoportanti, antiritiro, ecc.) composte da cementi ad alta resistenza, inerti, silice, additivi, da impiegarsi nei ripristini di elementi strutturali in c.a., devono possedere le caratteristiche autorizzati dal tecnico incaricato della verifica di sicurezza sismica.

Per il prelievo delle barre, particolare attenzione dovrà essere posta verificando la saldabilità delle barre in opera, adottando l'opportuno tipo di elettrodo ed effettuando la saldatura tra il nuovo spezzone e la barra esistente con cordoni d'angolo di adeguata lunghezza, in ogni caso mediante saldatura di testa.

### **13. Indagine magnetometrica con pacometro**

L'indagine pacometrica è una prova non distruttiva per l'identificazione delle armature all'interno delle strutture in calcestruzzo armato: mediante tale indagine di tipo magnetico è possibile rilevare con buona precisione la posizione delle barre di armatura presenti, la loro profondità (copriferro) ed il loro diametro.

Il funzionamento dello strumento è basato su principi di induzione elettromagnetica e permette di leggere in proiezione sulla superficie del cls la posizione delle armature, così da consentire una stima della misura dell'interferro e del copriferro delle armature longitudinali, presenti nel piano parallelo al piano di indagine e al passo delle staffe. Su ogni faccia delle superfici di calcestruzzo è individuabile la posizione delle barre di armatura. Ripetendo l'operazione su più sezioni dell'elemento e disegnando sulla superficie dello stesso mediante una matita che passi per i punti individuati, sarà possibile tracciare il reticolo delle armature presenti in vicinanza della superficie indagata.

Tale prova consente anche di individuare le zone dell'elemento prive di armatura nelle quali eseguire, pertanto, le indagini finalizzate alla conoscenza delle caratteristiche del calcestruzzo, quali il prelievo di carote e le prove sclerometriche.

In tal modo, le indagini pacometriche dovranno essere preliminari a qualsiasi tipo di indagine, distruttiva e non, condotta su elementi in cemento armato.

La prova viene eseguita sull'elemento strutturale dopo aver asportato l'intonaco.

Normativa di riferimento:

Norma BS 1881:204:1988 Testing concrete. Recommendations on the use of electromagnetic covermeters.

### **14. Prove combinate non distruttive con METODO SONREB (Sclerometro + ultrasuono)**

Le prove distruttive saranno integrate con prove non distruttive tipo SONREB, queste ultime in numero superiore, al fine di ottenere un quadro più ampio dello stato del calcestruzzo della struttura





## *Commissario Straordinario di Governo*

*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

o in sostituzione delle prove distruttive sino al 50% con un numero almeno triplo di prove non distruttive (p.to C8.A.1.B.3 – Circ. 617/2009).

La procedura di prova tradizionale prevede l'utilizzo, in maniera combinata, di prove con sclerometro e prove con ultrasuoni. La prima tecnica di indagine si basa sulla stima della resistenza del calcestruzzo attraverso la misura in situ dell'indice di rimbalzo; la seconda si basa sulla misura del tempo di attraversamento di un'onda ultrasonica all'interno dell'elemento strutturale.

Questo metodo consente, quindi, di determinare la resistenza  $R_{ck}$  di un calcestruzzo in opera correlandolo con la velocità ultrasonica  $V$ , ottenuta con prove ultrasoniche e con l'indice di rimbalzo  $S$  ottenuto con prove sclerometriche.

Tale metodo combinato consente di superare gli errori che si ottengono utilizzando separatamente il metodo sclerometrico, che è un metodo di indagine superficiale, e il metodo ultrasonico, che invece è un metodo di indagine volumetrico.

Le misure effettuate con le due prove andranno interpretate in maniera combinata con relazioni di comprovato valore riportate in bibliografia scientifica.

Si fa presente che prima di effettuare le prove con lo sclerometro e le onde soniche è necessario procedere all'individuazione delle armature sull'elemento strutturale oggetto dell'indagine.

### Normativa di riferimento:

UNI EN 12504-2:2001 Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Prove non distruttive - Determinazione dell'indice sclerometrico.

UNI EN 12504-4:2005 Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 4: Determinazione della velocità di propagazione degli impulsi ultrasonici.

## **15. Prova di durezza LEEB**

Prova semi-distruttiva per la stima della resistenza a trazione di barre d'armatura in strutture in calcestruzzo, mediante correlazione del valore di durezza LEEB determinata con durometro digitale, compresa la rimozione di copriferro e successivo ripristino con malta tissotropica alla fine dell'intervento.

La prova di durezza Leeb, normata dall'ASTM A956, è basata su un indentatore dinamico a rimbalzo. Dalla misura delle velocità d'impatto e di rimbalzo si ricava la misura di durezza, espressa in varie scale; la media dei valori rilevati su barre o profili in acciaio da carpenteria, estesa a tutto il sito d'indagine, è convertita in valori di resistenza a trazione (MPa), mediante il relativo prospetto della UNI EN ISO 16859. I tondini di armatura sono preliminarmente limati attraverso spazzole lamellari e carte abrasive per raggiungere la finitura superficiale richiesta da norma. La norma prevede di contenere la rugosità superficiale entro  $2\text{ }\mu\text{m}$ . Ci si limita a rasare la nervatura, preservando la curvatura della superficie. Tale curvatura, per problemi d'appoggio della sonda, può inficiare la prova; sono quindi utilizzati anelli adattatori che sono stati applicati alla base della sonda dello strumento.

La bontà della procedura di preparazione della superficie del tondo è valutata eseguendo su tale superficie tre impronte nello spazio di 3 mm e verificando che le durezze misurate siano comprese



*Commissario Straordinario di Governo*  
*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

in un intervallo di 6 HL; a valle di questa verifica, sono eseguite 10 battute su una fascia di lunghezza di circa 10 cm (in modo da analizzare una superficie corrispondente al pollice quadrato prescritto dalla norma), ottenendo i corrispondenti 10 valori di durezza Vickers. La media matematica di tali valori è utilizzata per calcolare, sulla base della norma UNI EN ISO 16859, l'intervallo di resistenza a trazione rappresentativo delle 10 misure di durezza Leeb.

Normativa di Riferimento:

UNI EN ISO 16859-1:2015: Materiali metallici - Prova di durezza Leeb - Parte 1: Metodo di prova

UNI EN ISO 18265:2014: Materiali metallici - Conversione dei valori di durezza

**16. Prova con Penetrometro Tipo “Windsor-Pin”**

La prova penetrometrica è eseguita con pistola tipo “Windsor-Pin”. Misura la profondità di penetrazione di appositi inserti metallici nel calcestruzzo sparati dalla Pistola. Vengono sparati 3 colpi secondo i vertici di un triangolo definiti da una dima. Le letture effettuate vengono correlate con la resistenza a compressione del calcestruzzo tramite tabelle, previa determinazione della durezza dell'inerte nella scala di Mohs. Ha come obbiettivo la valutazione della resistenza del calcestruzzo o delle malte.

Normativa di riferimento:

UNI PdR 56:2019

ASTM C803 / C803M – 18 Standard Test Method for Penetration Resistance of Hardened Concrete

**ART. 17: PROVE GEOFISICHE SUPERFICIALI IN SITU**

Il piano indagini prevede, oltre quanto indicato all'art. 16, per ciascun manufatto investigato, l'esecuzione di prove superficiali di sito: costituite da stendimenti geofisici (stendimenti fisici a rifrazione e MASW), mirati per lo più a definire le velocità delle onde sismiche e a confermare le sezioni geologiche previste e le caratteristiche dei terreni, nonché a determinare la frequenza fondamentale del sito.

La campagna di indagini geofisiche prevista è costituita da simiche M.A.S.W. al fine di:

- ricostruire l'andamento nelle tre dimensioni dei diversi corpi costituenti le unità geologiche di fondazione e le unità costituenti il corpo diga (nucleo, dreni, rinfianchi, etc.);
- ricostruire i differenti contatti stratigrafici lungo diverse sezioni d'indagine;
- verificare l'omogeneità e la continuità dei diversi corpi;
- estendere i risultati delle prove di laboratorio;
- caratterizzare i corpi dal punto di vista delle velocità sismiche.

**1. Multichannel Analysis of Surface Waves (M.A.S.W.)**

Nel dettaglio la caratterizzazione sismica dei suoli con metodo MASW è mirata a fornire la conoscenza del profilo di velocità delle onde di taglio Vs degli strati di terreno presenti nel sito, sino ad almeno 30 metri dal piano campagna (Vs30). La conoscenza del profilo delle onde di taglio Vs



*Commissario Straordinario di Governo*  
*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

degli strati che compongono i primi 30 metri di profondità risulta necessaria, oltre quanto precedentemente elencato, per:

- valutare l'azione sismica di progetto al livello del piano fondale tipo di opera valutare il potenziale di liquefazione del terreno.
- valutare l'accelerazione sismica per il calcolo della stabilità dei pendii e/o delle opere di sostegno nei confronti dell'azione sismica
- valutare, in condizioni sismiche, la capacità portante ed i cedimenti di opere di sostegno, fondazioni dei manufatti;

Sulla base del profilo di velocità delle onde di taglio dei primi 30 m di profondità, si determinerà una velocità media equivalente  $V_{s30}$  rappresentativa del sito in esame, secondo quanto indicato dalle NTC18 al punto 3.2.2.

La metodologia di misura delle onde superficiali (di Love o di Rayleigh) a diversa frequenza, che si generano e si propagano lungo l'interfaccia fra due sismo-strati, attraverso la metodologia M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves), verrà applicata lungo stendimenti indicati negli elaborati grafici.

In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, il che vuol dire che onde caratterizzate da diverse lunghezze d'onda si propagano con differenti velocità di fase e velocità di gruppo. Quindi la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh  $V_R$  dipende dalla frequenza di propagazione ed è correlata alla velocità delle onde di taglio  $V_S$  e al rapporto di Poisson  $\nu$  dalla relazione espressa in Eq. 6.

$$V_R \simeq \frac{0.874 + 1.117\nu}{1 + \nu} V_S$$

In Figura 1 si riporta un esempio di curva di dispersione.

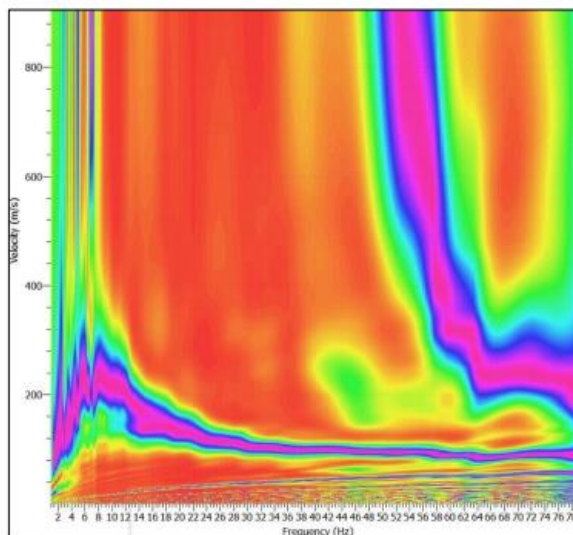


Figura 3 - Esempio di esempio di curva di dispersione



## *Commissario Straordinario di Governo*

*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

L'analisi M.A.S.W. può essere sintetizzata come segue:

- a. Acquisizione delle onde superficiali;
- b. trasformazione delle serie temporali nel dominio frequenza  $f$  - numero d'onda  $k$ ;
2. individuazione delle coppie  $f-k$  cui corrispondono i massimi spettrali d'energia (densità spettrale);
3. determinazione della curva di dispersione delle onde di Rayleigh nel piano velocità di fase  $V_F$  frequenza  $f$ ;
4. determinazione della curva di dispersione teorica attraverso la formulazione del profilo di velocità delle onde  $V_S$  e  $V_P$ , modificando opportunamente lo spessore degli strati, le relative velocità delle  $V_S$  e  $V_P$  (o in alternativa per una delle due il rapporto di Poisson) e la densità di massa  $\rho$  degli strati che costituiscono il modello del suolo.

L'interpretazione del profilo stratigrafico verrà effettuato mediante un'analisi 2D al fine di verificare variazioni laterali di stratigrafia.

Dove le M.A.S.W. saranno eseguite lungo uno stendimento sismico a rifrazione, si adopereranno le stesse configurazioni di prova dello stendimento, mentre in corrispondenza di stendimenti specifici saranno utilizzati geofoni con frequenza propria inferiore a 4.5 Hz disposti a distanza intergeofonica compresa tra 2.0 e 5.0 m, per un numero complessivo di 12 geofoni, pari ad una lunghezza complessiva massima di 60.0 m. Il punto di shot avrà un offset pari a 5.0 m. Durante l'esecuzione della prova si dovrà avere l'accortezza di non saturare il segnale al fine di poter individuare tutte le differenti fasi e le relative velocità.

Per tutti gli stendimenti dovranno essere forniti:

1. geometria dello stendimento con posizione plano-altimetrica dei geofoni e dei punti di scoppio;
2. registrazione in formato grafico e in formato digitale del segnale acquisito;
3. grafico della curva di dispersione;
4. profili sismostratigrafici interpretativi con tabella dei parametri immessi nei vari modelli:
  - numero degli strati;
  - spessore;
  - peso di volume;
  - rapporto di Poisson;
  - velocità delle onde  $V_P$  e  $V_S$ .
5. caratteristiche della strumentazione e dei software utilizzati;
6. data e ora di inizio e fine prova;
7. copia dei certificati di taratura e/o calibrazione della strumentazione;
8. relazione con le metodologie di esecuzione, criteri di elaborazione e di calcolo utilizzate.

### Strumentazione minima indispensabile per eseguire le prove MASW

Le prove verranno condotte utilizzando sismografi ad alta precisione ed a segnale incrementale, con energia di impulso fornita dall'impatto di massa battente e/o di esplosivo, con lunghezze di 23-46 metri o maggiore, utilizzando geofoni bassa frequenza (4,5 Hz) con almeno due registrazioni per



## *Commissario Straordinario di Governo*

*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

ogni stendimento, e sarà comprensiva dell'interpretazione ed elaborazione dei dati con profilo verticale di velocità dell'onda "S", e determinazione del parametro Vs30.

Per eseguire la prova MASW in sito verrà utilizzata la seguente strumentazione minima:

- Acquisitore multicanale con almeno 12 canali.
- Ricevitori geofoni (4,5Hz) o accelerometri. È consigliato l'uso di almeno 12 ricevitori, preferibilmente 24. I cavi abbiano lunghezza sufficiente a coprire una lunghezza massima di 100m.
- Sorgente impulsiva: mazza battente da 5kg-10kg con piastra metallica circa 15cm x 15cm su cui battere da disporre sul terreno. Se disponibili si possono anche usare altri tipi di sorgente come ad esempio una vibrodina oppure un carrello per sollevamento di grave da lasciar cadere sul terreno, o, infine, è possibile energizzare il sito con eccitazione armonica
- Bindella metrica per posizionare i ricevitori

### Configurazione temporale della prova MASW in sito

Si consiglia di acquisire il treno di onde generate dal colpo della mazza con un intervallo temporale di circa  $Dt=2 \times 10^{-3}$  s per un tempo totale di acquisizione di circa 4s (circa 2048 campioni temporali), avendo cura di includere la perturbazione generata all'interno dell'acquisizione. È sufficiente azionare l'acquisizione manualmente o con trigger subito dopo il colpo di mazza. I parametri di acquisizione temporale sopra suggeriti consentono di avere frequenza di Nyquist e risoluzione in frequenza della curva di dispersione pari a:

dove  $Dt$  è l'intervallo di acquisizione temporale. La risoluzione in frequenza della curva di dispersione è pari a:

$$f_{Nyquist} = \frac{1}{2\Delta t} = 250\text{Hz}$$

dove  $M=2048$  è il numero di campioni temporali acquisiti per ogni colpo di mazza.

$$\Delta f = \frac{1}{M \cdot \Delta t} = 0,244\text{Hz}$$

## **ART. 18: VARIAZIONI O MODIFICHE AL PIANO A BASE DI GARA**

Con la sottoscrizione degli atti contrattuali, quindi, l'aggiudicatario si impegna a garantire quanto prescritto innanzi, come esplicitamente prescritto ai precedenti articoli 2 e 6.

## **ART. 19: RELAZIONE SULLE INDAGINI DI IDENTIFICAZIONE STRUTTURALE**

L'aggiudicatario dovrà redigere una relazione dettagliata sulle indagini eseguite per ogni manufatto, la quale dovrà contenere le seguenti informazioni, sia per le attività in sito che per quelle in laboratorio:





## *Commissario Straordinario di Governo*

*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

- descrizione delle indagini eseguite per la caratterizzazione meccanica dei materiali, per l'approfondimento della geometria strutturale, per la ricerca dei particolari costruttivi, ecc;
- descrizione delle tipologie delle prove sperimentale, della modalità di esecuzione e della strumentazione utilizzata;
- descrizione dei programmi software utilizzati per l'acquisizione dati e relativa interpretazione
- copia dei rapporti giornalieri,
- risultati delle prove in sito e loro interpretazione
- documentazione a corredo delle prove sperimentali, comprensive dei certificati relativi alle prove di laboratorio, sia per gli acciai da cemento armato che per il calcestruzzo, secondo le norme di settore;
- documentazione sull'esecuzione delle indagini dirette eseguite sui manufatti (rimozione dei copriferri per la determinazione dei diametri di armatura, saggi stratigrafici, saggi pacometrici e rimozioni di intonaci per la verifica dell'organizzazione delle distinte d'armatura);
- Relazione con report fotografico con indicazione dei con i ottici sulle planimetrie di riferimento di ciascuno scatto riportato;
- Elaborati grafici di dettaglio con ubicazione e tipologia prova, riferimenti normativi, ecc.
- Relazione illustrativa e quadro riepilogativo dei risultati ottenuti con relativa interpretazione ai fini della caratterizzazione dei parametri fisici di interesse. In tale relazione, recante i risultati in merito alle caratteristiche meccaniche dei materiali, l'aggiudicatario dovrà riportare in modo analitico, preciso e univoco, l'elaborazione dei dati prodotti dalle prove di laboratorio e saggi in situ.

### **ART. 20: RELAZIONE SULLE CARATTERISTICHE DEI MATERIALI**

In tale relazione, recante i risultati in merito alle caratteristiche meccaniche dei materiali, l'aggiudicatario dovrà riportare in modo analitico, preciso e univoco, l'elaborazione dei dati prodotti dalle prove di laboratorio e saggi in situ.

In particolare, dovranno essere riportate le seguenti informazioni:

➤ *elementi in cemento armato*

- i dati relativi ai risultati da prove di laboratorio per la resistenza del calcestruzzo prelevato;
- la tipologia, il diametro nonché i valori della tensione di snervamento, di rottura nonché l'allungamento medio delle barre soggette a prove di laboratorio.

### **ART. 21: INDAGINI GEOTECNICHE - GEOGNOSTICHE**

Il piano delle indagini in situ può essere schematizzato in quattro gruppi di prove:

***Prove superficiali:*** costituite da stendimenti sismici a rifrazione tipo MASW, mirati per lo più a definire il profilo di velocità delle onde di taglio;



*Commissario Straordinario di Governo*  
*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

**Sondaggi:** a carotaggio continuo allo scopo di ricostruire la stratigrafia del terreno, il prelievo di campioni indisturbati e l'esecuzione di prove in foro;

**Prove in foro:** prove penetrometriche standard SPT, prelievo di campioni di terreno;

**Prove penetrometriche:** prove penetrometriche standard SPT, prove penetrometriche continue di tipo dinamico ultrapesante DPSH.

Le prove di laboratorio dovranno essere conformi a quanto richiesto dalle seguenti normative:

**Circolare Ministeriale n. 7618/STC del 08 settembre 2010** - *Criteri per il rilascio dell'autorizzazione ai Laboratori per l'esecuzione e certificazione di prove su terre e rocce di cui all'art. 59 del D.P.R. n. 380/2001;*

**D.M. 17.01.2018 (NTC18)** - *Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni;*

**Circolare C.S.LL.PP. n. 7 del 21.01.2019 (C-NTC18)** - *Istruzioni per l'applicazione dell' "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018;*

*Norme italiane (AGI, UNI-CNR), europee (BS, DIN) ed americane (ASTM), ove vengono considerate standard di riferimento internazionale, per la realizzazione delle prove geotecniche di laboratorio.*

A tal fine, su richiesta di questo ente, il laboratorio preposto all'esecuzione delle prove, dovrà fornire la documentazione inerente:

Autorizzazione del Consiglio superiore dei LL.PP. secondo la **Circolare Ministeriale n. 7618/STC del 08 settembre 2010;**

Certificazione di conformità alla norma **ISO 9001:2008** (Manuale di qualità e sue istruzioni operative);

Certificati di verifica, collaudo e/o controllo della strumentazione utilizzata per come richiesto dalla **Circolare Ministeriale n. 7618/STC del 08 settembre 2010.**

Allorquando il laboratorio dovesse adoperare metodologie difformi da quelle di seguito descritte, le stesse dovranno essere comunicate al momento della stipula del contratto e autorizzate dall'ente, previa accertamento della loro uniformità alle norme sopra elencate.

Per ogni prova eseguita dovranno essere forniti i dati di prova tabellati e i relativi grafici, la data di inizio e fine prova, la normativa di riferimento.

Le norme citate nel presente documento devono essere intese nelle loro versioni vigenti (aggiornate o sostituite).

## **PROVE SUPERFICIALI**

### **Multichannel Analysis of Surface Waves (M.A.S.W.)**

Lungo gli stendimenti sismici a rifrazione si applicherà la metodologia di misura delle onde superficiali (di *Love* o di *Rayleigh*) a diversa frequenza, che si generano e si propagano lungo



*Commissario Straordinario di Governo*  
*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

l'interfaccia fra due sismo-strati, attraverso la metodologia *M.A.S.W.* (*Multichannel Analysis of Surface Waves*).

In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, il che vuol dire che onde caratterizzate da diverse lunghezze d'onda si propagano con differenti velocità di fase e velocità di gruppo. Quindi la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh  $V_R$  dipende dalla frequenza di propagazione ed è correlata alla velocità delle onde di taglio  $V_S$  e al rapporto di Poisson  $\nu$  dalla relazione espressa in Eq. 1.

$$V_R \simeq \frac{0.874 + 1.117\nu}{1 + \nu} V_S \quad \text{Eq. 1}$$

In Figura 1 si riporta un esempio di curva di dispersione.

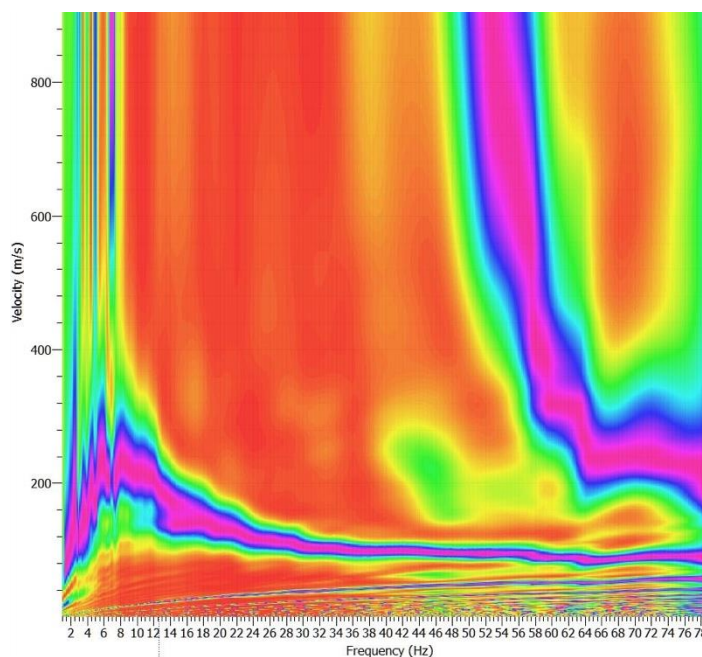


Figura 1 - Esempio di esempio di curva di dispersione.

L'analisi M.A.S.W. può essere sintetizzata come segue:

1. trasformazione delle serie temporali nel dominio frequenza  $f$  - numero d'onda  $k$ ;
2. individuazione delle coppie  $f$ - $k$  cui corrispondono i massimi spettrali d'energia (*densità spettrale*);
3. determinazione della curva di dispersione delle onde di Rayleigh nel piano velocità di fase  $V_F$  - frequenza  $f$ ;
4. determinazione della curva di dispersione teorica attraverso la formulazione del profilo di velocità delle onde  $V_S$  e  $V_P$ , modificando opportunamente lo spessore degli strati, le relative velocità delle  $V_S$  e  $V_P$  (o in alternativa per una delle due il *rapporto di Poisson*) e la densità di massa  $\rho$  degli strati che costituiscono il modello del suolo.

L'interpretazione del profilo stratigrafico verrà effettuato mediante un'analisi 2D al fine di verificare variazioni laterali di stratigrafia.



*Commissario Straordinario di Governo*  
*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

Dove le M.A.S.W. saranno eseguite lungo uno stendimento sismico a rifrazione, si adopereranno le stesse configurazioni di prova dello stendimento, mentre in corrispondenza di stendimenti specifici saranno utilizzati geofoni con frequenza propria inferiore a 4.5 Hz disposti a distanza intergeofonica compresa tra 2.0 e 5.0 m, per un numero complessivo di 12 geofoni, pari ad una lunghezza complessiva massima di 60.0 m. Il punto di *shot* avrà un offset pari a 5.0 m. Durante l'esecuzione della prova si dovrà avere l'accortezza di non saturare il segnale al fine di poter individuare tutte le differenti fasi e le relative velocità.

Per tutti gli stendimenti dovranno essere forniti:

1. geometria dello stendimento con posizione plano-altimetrica dei geofoni e dei punti di scoppio;
2. registrazione in formato grafico e in formato digitale del segnale acquisito;
3. grafico della curva di dispersione;
4. profili sismostratigrafici interpretativi con tabella dei parametri immessi nei vari modelli:
  - numero degli strati;
  - spessore;
  - peso di volume;
  - rapporto di Poisson;
  - velocità delle onde  $V_P$  e  $V_S$ .
5. caratteristiche della strumentazione e dei software utilizzati;
6. data e ora di inizio e fine prova;
7. copia dei certificati di taratura e/o calibrazione della strumentazione;
8. relazione con le metodologie di esecuzione, elaborazione e calcolo utilizzate.

## **SONDAGGI**

I sondaggi geognostici verranno realizzati al fine di costruire un modello geologico-geotecnico del corpo diga e delle unità geologiche costituenti i terreni di fondazione e delle pareti dell'invaso.

Le finalità degli stessi possono essere così sintetizzate:

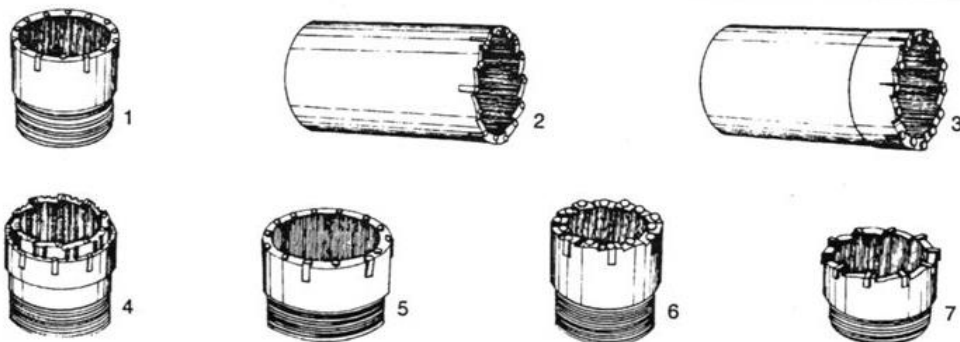
- ricostruzione di una stratigrafia di dettaglio;
- costruzione di uno o più modelli per l'interpretazione delle indagini indirette (prove penetrometriche e indagini sismiche);
- prelievo di campioni da sottoporre a prove di laboratorio;
- installazione di strumentazione di misura.

I sondaggi andranno realizzati a *carotaggio continuo* con l'utilizzo del carotiere semplice e dove necessario del doppio carotiere, a esclusione dei fori previsti a *distruzione di nucleo*. Per il sostentamento del foro di sondaggio ove necessario si dovrà ricorrere all'uso del rivestimento di tipo telescopico. In *Figura 2* si illustrano le diverse tipologie di corone.



## *Commissario Straordinario di Governo*

*art. 1, comma 154, L. 145/2018*



*Figura 2 - Tipologie di corone: 1) corona carotiere semplice; 2) corona doppio carotiere T2; 3) corona doppio carotiere NT6; 4) corona doppio carotiere NT6S; 5) corona Denison; 6) corona doppio carotiere NK3 con fori di scarico; 7) corona a placche per argilla.*

Per la realizzazione dei sondaggi si dovrà disporre, in particolar modo per i sondaggi da realizzare sul corpo diga, di una vasca per il riciclo dell'acqua o dei fluidi di perforazione, che permetta la parziale decantazione del materiale trasportato dagli stessi. Nelle zone al di fuori del corpo diga, dove lo spazio a disposizione e il terreno lo permetta, la vasca potrà essere sostituita da uno scavo appositamente eseguito. Alla fine della perforazione dovrà essere comunque ripristinato lo stato dei luoghi.

Durante la perforazione si dovrà usare preferibilmente la sola acqua come fluido di perforazione al fine di non falsare le prove di permeabilità o rischiare di intasare le celle piezometriche una volta installate.

Il materiale carotato andrà conservato in apposite cassette catalogatrici, sulle quali dovrà essere ben visibile:

1. numero del sondaggio;
2. numero della cassetta;
3. data;
4. profondità di prelievo;
5. prelievi di campioni;
6. prove in foro.

Le stesse dovranno essere fotografate separatamente e inserite nell'apposita *relazione di consegna lavori* unitamente alla documentazione fotografica dell'ubicazione della macchina e alle stratigrafie dei sondaggi. Le cassette catalogatrici, al loro completamento, dovranno essere coperte con apposito coperchio, trasportate in luogo chiuso e coperto, non esposte al sole nonché alle intemperie (ad esempio la casa di guardia o un deposito automezzi).

Nelle stratigrafie dovranno essere presenti:

1. profondità delle diverse unità riconosciute;
2. descrizione litologica;
3. prelievo dei campioni e tipologia di campionatore utilizzato;
4. profondità e tipologia di prove in foro eseguite;



## Commissario Straordinario di Governo

art. 1, comma 154, L. 445/2018

5. profondità del rivestimento e suo diametro;
6. tipologia di carotiere unitamente alla tipologia di corona utilizzata;
7. percentuale di carotaggio;
8. eventuale R.Q.D. per i tratti lapidei;
9. tipologia di fluidi di perforazione utilizzati;
10. caratteristiche della strumentazione utilizzata.

I campioni dovranno essere prelevati con un campionatore idoneo ad avere campioni indisturbati (qualità Q.5). Gli stessi dovranno essere sigillati con paraffina e tappi per la chiusura delle fustelle al fine di non perdere l'umidità naturale del campione. I campioni rimaneggiati potranno essere contenuti in sacchetti di nylon e sigillati con nastro adesivo. Tutti i campioni prelevati dovranno essere consegnati in breve tempo al laboratorio geotecnico incaricato dal Committente, e nel frattempo conservati in luogo fresco e riparato.

Si evidenzia che l'esatta posizione dei sondaggi, dovrà seguire le indicazioni del presente piano di indagini (vedi *INDAGINI GEOGNOSTICHE - Relazione Generale*) e dovrà essere confermata dalla Direzione diga al momento dell'inizio attività al fine di non creare danneggiamenti alle strutture ed agli apparati di controllo dello sbarramento.

### PROVE IN FORO

All'interno di alcuni fori di sondaggio saranno eseguite prove *SPT*, di seguito descritte.

#### Prove Penetrometriche Dinamiche (S.P.T.)

La *prova S.P.T.* consiste nell'infissione a percussione di uno speciale campionatore nel terreno attraverso l'utilizzo di una massa battente, per un intervallo di profondità ben definito, e nel misurare il numero di colpi necessari per l'infissione del tratto prescelto (*Figura 3*).

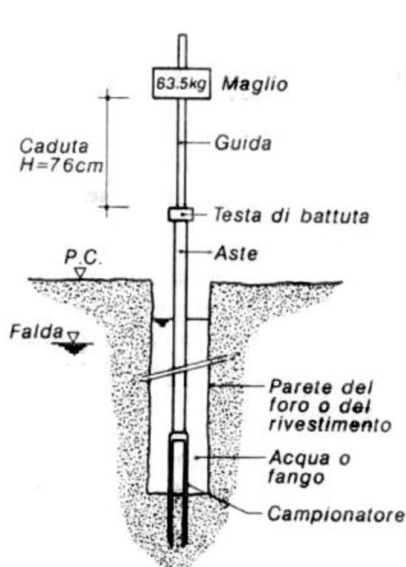


Figura 3 - Schema dell'attrezzatura utilizzata per la prova S.P.T.



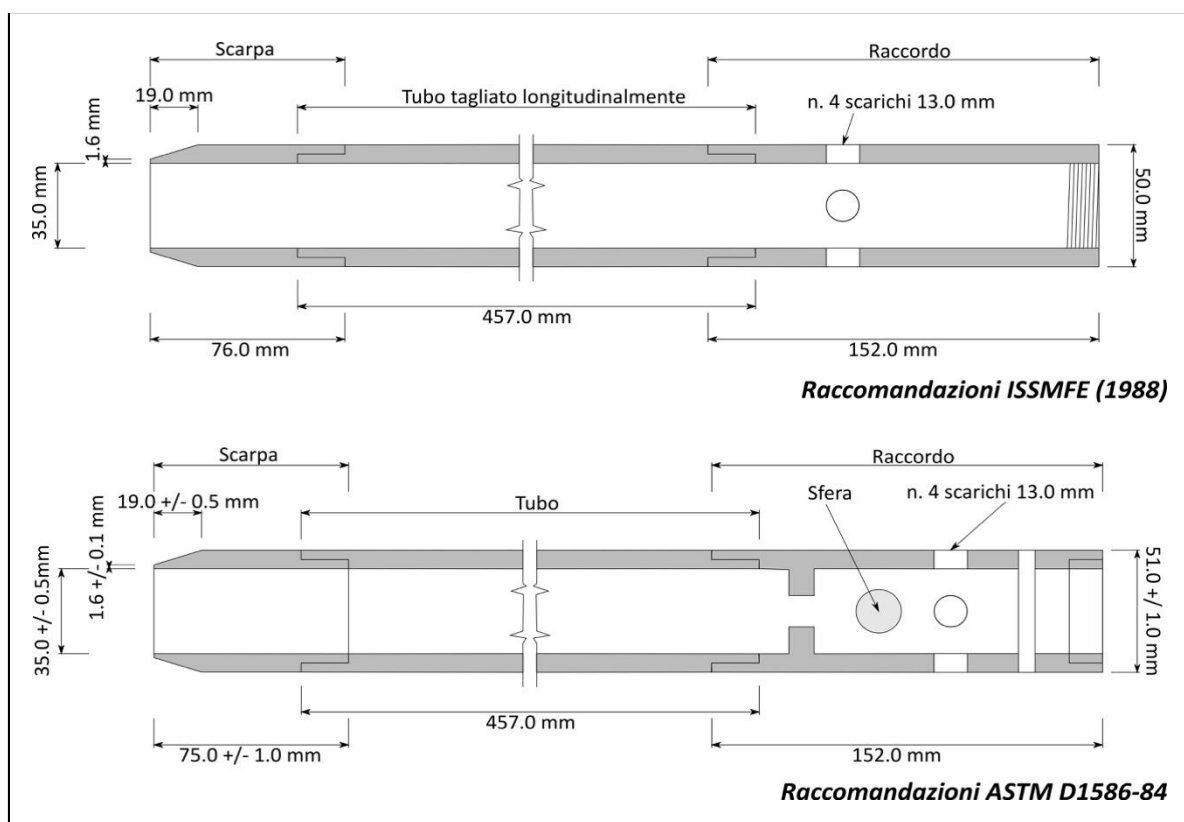


*Commissario Straordinario di Governo*  
*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

L'attrezzatura di prova, così come stabilito dalle *Raccomandazioni per le indagini geotecniche* (1977) dell'Associazione Geotecnica Italiana A.G.I., dalle raccomandazioni ASTM D 1586-84 (1984) e dell'Associazione Geotecnica Internazionale ISSMFE (1988) comprende:

1. una testa di battuta di acciaio avvitata al sistema di aste della macchina perforatrice;
2. un maglio in acciaio dal peso di  $63.5 \pm 0.5$  kg;
3. un dispositivo di guida e di sgancio automatico del maglio, che garantisca una corsa di caduta libera pari a  $76.0 \pm 2.0$  cm;
4. aste di infissione di diametro esterno non inferiore a 50.0 mm e peso di  $7.0 \pm 0.5$  kg/m;
5. centratore di guida per le aste installato tra la testa di battuta e il piano campagna;
6. campionatore standardizzato a parete grossa così come riportato in *Figura 4*;
7. per terreni grossolani la punta del campionatore può essere sostituita da una punta chiusa dal diametro di 51.0 mm e apertura di  $60^\circ$ .

La differenza tra l'interno del tubo di rivestimento ed il diametro esterno delle aste non deve superare i 60.0 mm, nel caso in cui tale condizione non sia garantita bisognerà adoperare, ad intervalli di 3.0 m, centratori di dimensioni adeguate al foro e alle aste.



*Figura 4 - Campionatore standard per prove S.P.T..*

La prova S.P.T. consiste quindi nel far cadere ripetutamente un maglio, del peso di 63.5 kg, da un'altezza di 760 mm, su una testa di battuta fissata alla sommità di una batteria di aste alla cui estremità inferiore è avvitato il campionatore standardizzato e registrando durante la penetrazione:



*Commissario Straordinario di Governo*  
*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

il numero di colpi di maglio  $N_1$  necessario a produrre l'infissione per i primi 15 cm (*tratto di avviamento*) inclusa l'eventuale penetrazione quasi statica per gravità;

il numero di colpi di maglio  $N_2$  necessario a produrre l'infissione per altri 15 cm;

il numero di colpi di maglio  $N_3$  necessario a produrre l'infissione per ulteriori 15 cm.

Complessivamente, durante la prova, il campionatore sarà infisso di 45 cm (15+15+15).

Si assume quale resistenza alla penetrazione il parametro  $N_{SPT} = N_2 + N_3$ .

In particolare la prova può considerarsi conclusa qualora si verifichino i seguenti casi:

1. se durante il primo tratto (*tratto di avviamento*) il numero di colpi  $N_1$  dovesse risultare maggiore di 50;
2. se nel secondo e terzo tratto (*tratto di prova*) la somma del numero di colpi registrato nel secondo tratto  $N_2$  e nel terzo tratto  $N_3$  dovesse essere maggiore di 100.

Per ogni prova eseguita il rapporto di prova o certificato dovrà contenere:

1. schema geometrico della prova (lunghezza del sistema di aste, altezza del sistema di battuta dal piano campagna);
2. caratteristiche della strumentazione utilizzata (dimensione e peso di ogni elemento);
3. tabelle dei risultati;
4. tipologia di punta utilizzata;
5. data e ora di inizio e fine prova;
6. copia dei certificati di taratura e/o calibrazione della strumentazione;
7. breve relazione descrittiva delle metodologie utilizzate.

## **PROVE PENETROMETRICHE**

Oltre alle *prove penetrometriche dinamiche S.P.T.* eseguite in foro pertanto discusse nei paragrafi precedenti, e alle prove speditive eseguite in maniera diffusa sulle carote mediante *Pocket Penetrometer*, è prevista l'esecuzione di una serie di prove penetrometriche in continuo autoperforanti di tipo dinamico (*D.P.S.H.*), volte soprattutto a caratterizzare i differenti litotipi presenti sia nel corpo diga che nell'area di invaso. Tali prove serviranno a fornire una caratterizzazione del comportamento meccanico dei terreni ed una classificazione degli stessi lungo una verticale d'indagine, al fine di estendere i risultati di laboratorio in un'area più ampia possibile. Per tutte le indagini è prevista una profondità di 15.0 m variabile in funzione delle condizioni di resistenza (rifiuto strumentale) dei terreni attraversati.

### **Prove Penetrometriche Dinamiche di tipo Ultrapesante (D.P.S.H.)**

La *prova dinamica ultrapesante D.P.S.H.* consiste nell'infissione a percussione di una punta conica nel terreno attraverso l'utilizzo di una massa battente e nel misurare il numero di colpi necessari per l'infissione della punta ad intervalli uguali (30.0 cm) e consecutivi nel terreno.



## Commissario Straordinario di Governo

art. 1, comma 154, L. 145/2018

L'attrezzatura di prova, così come descritto dalle *Raccomandazioni per le indagini geotecniche* (1977) dell'Associazione Geotecnica Italiana A.G.I., relativamente al penetrometro *Super-Pesante tipo Meardi*, comprende:

1. punta conica dal diametro di 50.8 mm con angolo di apertura di 60°;
2. batterie di aste interne del peso di  $4.6 \pm 0.5$  kg/m;
3. batteria di tubi metallici di rivestimento dal diametro di 48.0 mm e peso di circa 5.3 kg/m;
4. sistema di battuta con maglio di 73.0 kg.

In mancanza della specifica tipologia di penetrometro, lo stesso dovrà rientrare all'interno della classificazione proposta dall'Associazione Geotecnica Internazionale ISSMFE (1988) come penetrometro di tipo Super-Pesante DPSH, come riportato in *Tabella 1*.

Caratteristiche		Tipo di Penetrometro Dinamico			
		Leggero	Medio	Pesante	Super-Pesante
		DPL	DPM	DPH	DPSH
Massa del maglio	kg	$10.0 \pm 0.1$	$30.0 \pm 0.3$	$50.0 \pm 0.5$	<b><math>63.5 \pm 0.5</math></b>
Altezza di caduta	cm	$50.0 \pm 0.1$	$50.0 \pm 0.1$	$50.0 \pm 0.1$	<b><math>75.0 \pm 0.2</math></b>
Diametro della punta	cm	$3.57 \pm 0.03$	$3.57 \pm 0.03$	$4.37 \pm 0.03$	<b><math>50.5 \pm 0.05</math></b>
Area della punta	cm <sup>2</sup>	10.0	10.0	15.0	<b>20.0</b>
Apertura del cono	°	90.0	90.0	90.0	<b>90.0</b>
Diametro delle aste	cm	$2.2 \pm 0.02$	$3.2 \pm 0.03$	$3.2 \pm 0.03$	<b><math>3.2 \pm 0.03</math></b>
Peso sistema di infissione	kg	6.0	18.0	18.0	<b>30.0</b>
Penetrazione standard	cm	10	10	10	<b>20</b>

Tabella 1 - Tipologia di penetrometro secondo le norme ISSMFE (1988).

Durante l'esecuzione della prova si misureranno il numero di colpi per infiggere il sistema di aste  $N_P$  e il numero di colpi per infiggere il rivestimento esterno  $N_R$ . Se uno dei due dovesse risultare maggiore di 100 la prova può ritenersi conclusa.

A corredo della prova e per ogni tratto di misura può essere calcolata la *resistenza dinamica alla punta* tramite la *Formula degli Olandesi* (Eq. 2).

$$r_d = \frac{M \cdot g \cdot H}{A \cdot \frac{N_P}{\delta}} = \frac{M \cdot g \cdot H}{A \cdot e}; q_d = \frac{M}{M + M'} \cdot \frac{M \cdot g \cdot H}{A \cdot e} \quad \text{Eq. 2}$$

dove:

$r_d$  e  $q_d$  = valori della resistenza dinamica alla punta

$M$  = massa del maglio

$M'$  = massa totale dell'asta guida, della testa di battuta e della batteria di aste

$H$  = altezza di caduta del maglio

$N_P$  = numero di colpi

$\delta$  = penetrazione standard

$e$  = penetrazione media della punta per singolo colpo ( $N_P / \delta$ )



*Commissario Straordinario di Governo*  
*art. 1, comma 154, L. 445/2018*

$A$  = area trasversale della punta

$g$  = accelerazione di gravità

In Figura 5 si riporta un grafico di esempio relativo ai risultati di una prova D.P.S.H..

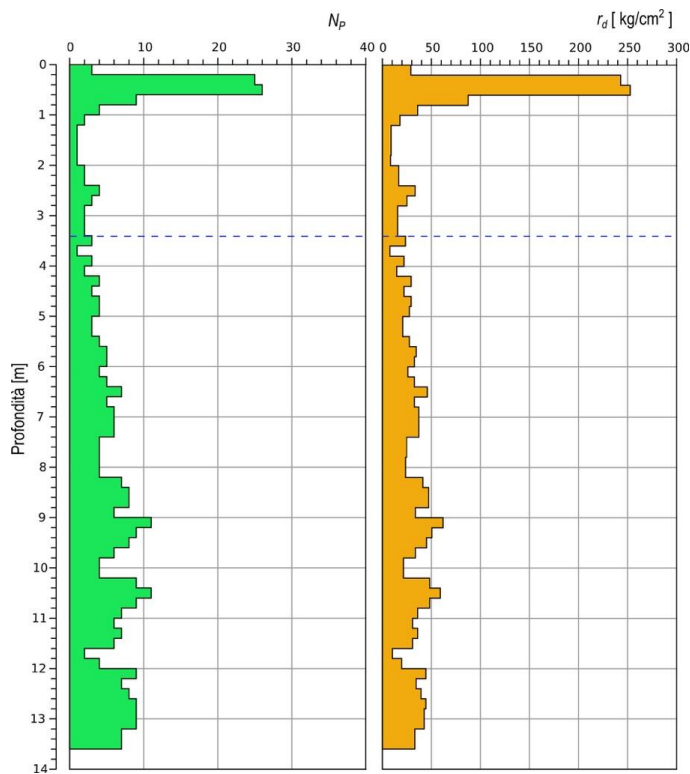


Figura 5 – Esempio di grafico dei risultati della prova D.P.S.H..

Per ogni prova il rapporto di prova o certificato dovrà contenere:

1. schema geometrico della prova (lunghezza del sistema di aste, altezza del sistema di battuta dal piano campagna);
2. caratteristiche della strumentazione utilizzata (dimensione e peso di ogni elemento);
3. tabelle dei risultati e delle elaborazioni in formato cartaceo e digitale (sia editabile che non);
4. grafici dei risultati e delle elaborazioni in formato cartaceo e digitale (sia editabile che non);
5. data e ora di inizio e fine prova;
6. copia dei certificati di taratura e/o calibrazione della strumentazione;
7. breve relazione descrittiva delle metodologie utilizzate per l'esecuzione ed interpretazione della prova.

## TRATTAMENTO DEI CAMPIONI IN LABORATORIO

I campioni che arrivano in laboratorio devono essere corredati delle seguenti informazioni, fornite dall'impresa che ha eseguito il prelievo:

5. sigla di riferimento del campione;
6. profondità di prelievo;
7. tipologia e numero di indagine dove è stato prelevato il campione (sondaggio);



*Commissario Straordinario di Governo*  
*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

8. luogo di prelievo;

9. data di prelievo.

Ogni campione andrà quindi etichettato e sull'etichetta andrà riportata la sua sigla di riferimento, la relativa data di prelievo e la profondità. Per ogni campione, una volta aperto, devono essere annotate le seguenti informazioni:

descrizione visiva delle caratteristiche del contenitore e del campione;

tipologia di campione (indisturbato, rimaneggiato, blocco, ...);

tipo di fustella o altro contenitore;

dimensioni;

qualità del campione secondo la *Tabella 2* e in base alle osservazioni macroscopiche dello stesso.

<b>TIPO DI TERRENO</b>	<b>TIPO DI CAMPIONATORE</b>				
	<b>Pesante infisso a percussione</b>	<b>A parete sottile infisso a percussione</b>	<b>A parete sottile infisso a pressione</b>	<b>A pistone infisso a pressione</b>	<b>A rotazione a parete doppia con scarpa avanzata</b>
<b>Coerenti poco consistenti</b>		Q.3	Q.4	Q.5	
<b>Coerenti moderatamente consistenti o consistenti</b>	Q.3 – Q.4	Q.4	Q.5	Q.5	
<b>Coerenti molto consistenti</b>	Q.2 – Q.3	Q.3 – Q.4	Q.5		Q.5
<b>Sabbie fini al di sopra della falda</b>	Q.2	Q.3	Q.3	Q.3 – Q.4	
<b>Sabbie fini in falda</b>	Q.1	Q.2	Q.2	Q.2 – Q.3	

*Tabella 2 - qualità del campione in base alla tipologia di terreno e al sistema di infissione.*

Ogni campione deve essere conservato nell'armadio umido ad una temperatura di 20°C con una umidità del 100%. Una volta eseguite le prove richieste l'eventuale porzione di campione rimanente deve essere conservata nell'armadio umido all'interno di un idoneo contenitore per un periodo di almeno 6 mesi. Si evidenzia che i provini derivanti dall'esecuzione delle prove meccaniche devono essere conservati per un periodo minimo di 6 mesi.

Per ogni campione verrà eseguita una descrizione visiva accompagnata da adeguata documentazione fotografica.

Per i materiali grossolani è necessario definire *sfericità* e *arrotondamento* delle diverse particelle costituenti il terreno, come riportato dalle seguenti tabelle e figure (*Tabella 3, Figura 6*):

<b>Terminologia</b>		<b>Descrizione</b>
<b>A</b>	Angolari	Presentano spigoli vivi, facce relativamente piane, non levigate
<b>B</b>	Subangolari	Presentano spigoli arrotondati, facce relativamente piane, non levigate
<b>C</b>	Subarrotondate	Presentano facce pressoché piane con spigoli ben arrotondati
<b>D</b>	Arrotondate	Presentano facce incurvate e assenza di spigoli
<b>E</b>	Ben arrotondate	Presentano facce tondeggianti

*Tabella 3 - Descrizione della geometria delle particelle grossolane secondo le norme ASTM.*



*Commissario Straordinario di Governo*  
*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

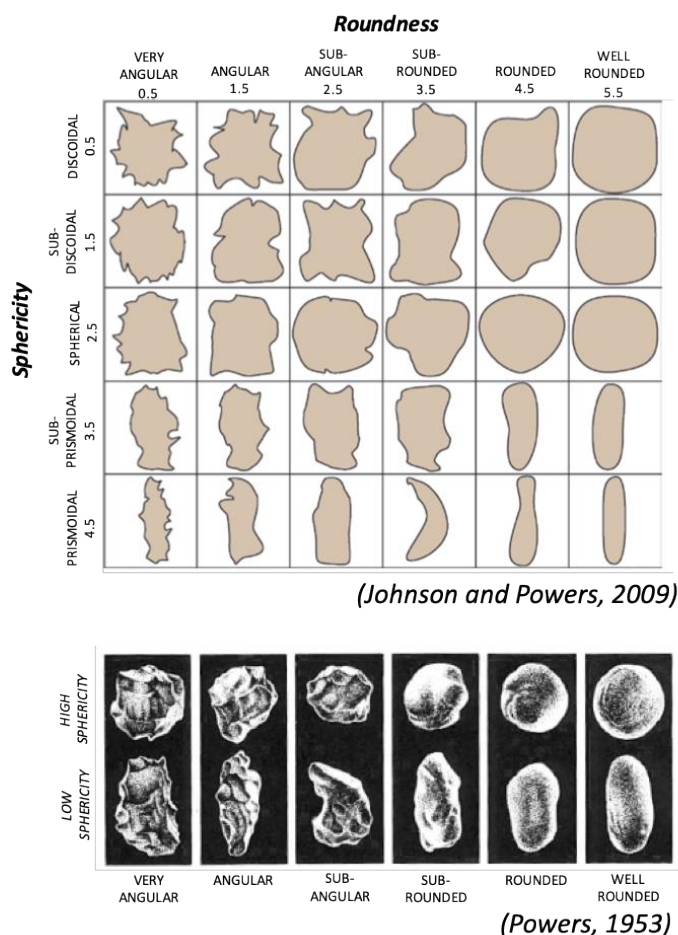


Figura 6 - Sfericità ed arrotondamento delle particelle grossolane.

Per i clasti più grossolani si determinano le tre dimensioni principali, approssimabili agli assi principali di un ellissoide, dalla più grande alla più piccola di seguito denominate: asse maggiore  $a$ , asse intermedio  $b$  e asse minore  $c$  e se ne calcolano i rapporti. I clasti possono essere classificati secondo la forma in base alla Figura 7 e alla Tabella 4.

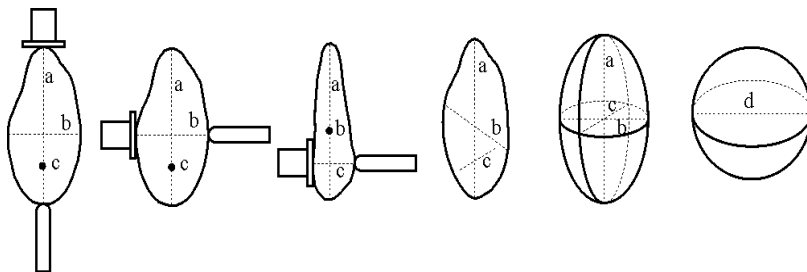


Figura 7 - Sfericità ed arrotondamento delle particelle grossolane Wadell (1932).

Terminologia	Descrizione
Piatte	Rapporto $\frac{b}{c} > 3$
Allungate	Rapporto $\frac{a}{b} > 3$
Piatte e allungate	Rapporto $\frac{a}{b} > 3$ e $\frac{b}{c} > 3$

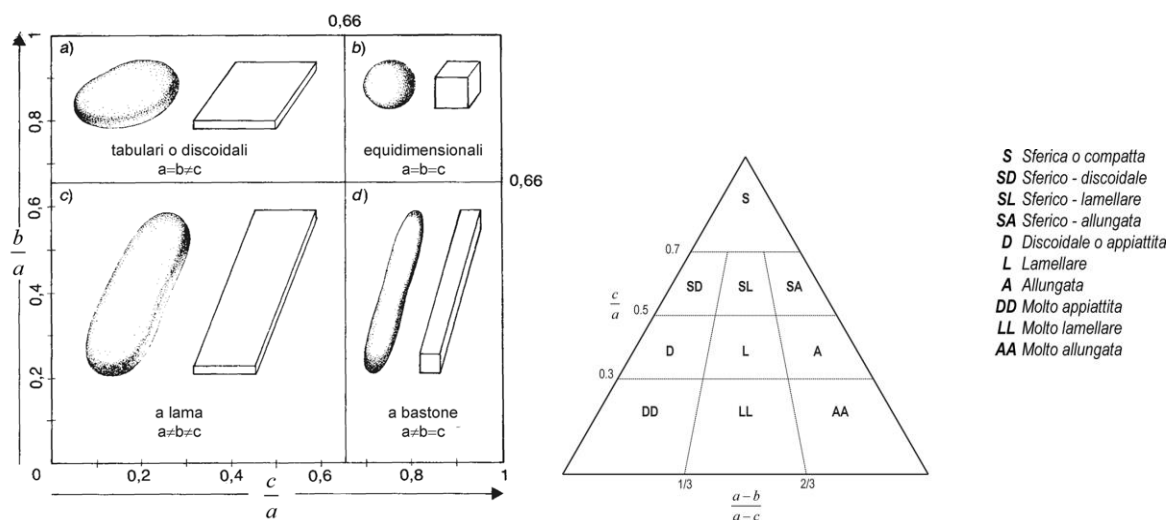
Tabella 4 - Descrizione delle particelle grossolane secondo la forma.





*Commissario Straordinario di Governo*  
*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

In alternativa si potranno utilizzare i modelli proposti da Zingg (1935) e Sneed & Folk (1958) come riportato in *Figura 8*.



*Figura 8 - Forme fondamentali delle particelle grossolane (Zingg, 1935; Sneed & Folk, 1958).*

Per i terreni a grana fine si darà una valutazione speditiva del grado di plasticità (*Tabella 5*).

Terminologia	Descrizione
Non plastico	Per qualsiasi contenuto di acqua non è possibile plasmare bastoncini di 3 mm di diametro.
Di bassa plasticità	I bastoncini possono appena essere plasmati ma non rimpastati in zolle quando al di sotto del limite di plasticità.
Di media plasticità	I bastoncini vengono plasmati facilmente e in breve tempo si raggiunge il limite di plasticità.
Di alta plasticità	I bastoncini vengono plasmati facilmente ma occorre parecchio tempo per raggiungere il limite di plasticità. Possono essere rimpastati in zolle.

*Tabella 5 - Classificazione del materiale in base al grado di plasticità.*

Dove richiesto si eseguiranno determinazioni con il *Pocket Penetrometer*; in base ai valori ottenuti il terreno può essere classificato come segue (*Tabella 6*):

Consistenza	Descrizione	Pocket Penetrometer (kPa)
Molto tenero	Il pollice penetra nel campione per più di 25 mm	$\leq 40$
Tenero	Il pollice penetra nel campione circa 25 mm	$40 \div 80$
Consistente	Il pollice penetra nel campione circa 6 mm	$80 \div 150$
Molto consistente	Si riesce a scalfire il campione con l'unghia	$1500 \div 300$
Duro	Non si riesce a scalfire il campione con l'unghia	$\geq 300$

*Tabella 6 - Descrizione del campione indisturbato in base alla consistenza.*

Si darà infine una descrizione sulla presenza di strutture e sulla tessitura del campione sulla base delle seguenti tabelle (*Tabella 7, Tabella 8*).

Tessitura	Descrizione
Omogenea	Costituito da un solo componente
Eterogenea	Costituito da materiali di diversa origine, senza una netta stratificazione
Stratificata	Strati alternati di materiali di diversa origine

*Tabella 7 - Descrizione della tessitura presentata dal campione.*



*Commissario Straordinario di Governo*  
*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

Struttura	Descrizione
Stratificata	Alternanze di terreno a granulometria o con colore diverso con spessori superiori a 6 mm
Laminata	Alternanze di terreno a granulometria o con colore diverso con spessori inferiori a 6 mm
Fessurata	Presenza di piani di fratture ben definiti
Levigata	Presenza di piani di fratture levigati e traslucidi, a volte striati
Scagliosa	Materiale coesivo che si frantuma in scaglie spigolose o subangolari che presentano una certa resistenza
Lenticolare	Presenza di piccole inclusioni di materiale diverso dalla matrice
Omogenea	Non si notano diversità di struttura o di colore

*Tabella 8 – Descrizione delle diverse strutture presenti in un campione indisturbato.*

Nel caso sia presente un certo grado di cementazione si provvederà a darne una descrizione in base alla resistenza alla frantumazione offerta dal campione (*Tabella 9*).

Cementazione	Descrizione
Debole	Il campione si frantuma con le mani o con una debole pressione delle dita
Moderato	Il campione si frantuma con una certa pressione delle dita
Elevato	Il campione non si frantuma con la pressione delle dita

*Tabella 9 – Descrizione del grado di cementazione di un campione indisturbato.*

Devono essere inoltre forniti: colore, odore, presenza di elementi organici o carboniosi, presenza e breve descrizione di eventuali elementi fossiliferi ed eventuale reazione all'acido cloridrico.

## CARATTERIZZAZIONE FISICA

Le *caratteristiche fisiche* dei terreni sono quelle proprietà che dipendono dagli elementi che costituiscono il terreno, ovvero dai grani, dalla loro forma, dimensione, tessitura, struttura, e configurazione, ma non dalle azioni imposte. Di seguito si descrivono brevemente i criteri per effettuare la *classificazione dei terreni*, l'*analisi granulometrica*, la determinazione di alcune delle *proprietà indice* (le altre sono deducibili) e dei *limiti di Atterberg*.

### Classificazione dei terreni

Per quanto riguarda la *classificazione* dei terreni si può fare riferimento alla classi granulometriche proposte dall'A.G.I., al più noto sistema di classificazione U.S.C.S. e al sistema di classificazione stradale HRB-AASSHTO.

#### Procedura A.G.I.

Per la classificazione dei terreni, in base alle norme A.G.I. (1994), si identificano le percentuali di passante in peso relative alle diverse classi, dalla percentuale maggiore alla percentuale minore (ad esempio A, B e C con percentuali  $p_A > p_B > p_C$ ). Il terreno prende la nomenclatura della classe avente percentuale maggiore, seguito dai nomi delle altre classi granulometriche secondo il seguente schema:

se il corrispondente p è compreso tra il 50% e il 25% il nome della classe sarà preceduto dalla congiunzione “**con**”;



*Commissario Straordinario di Governo*  
*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

se il corrispondente p è compreso tra il 25% e il 10% il nome della classe sarà seguito dal suffisso “**oso**”;

se il corrispondente p è compreso tra il 10% e il 5% il nome della classe sarà preceduto dal dall’aggettivo “**debolmente**” e seguito dal suffisso “**oso**”;

se il corrispondente p è minore del 5% il nome della classe sarà omissso.

**Procedura U.S.C.S.**

Per la classificazione del Sistema Unificato U.S.C.S. (Unified Soil Classification System) si adotta la scala granulometrica definita dalle norme ASTM D2488-84 e la relativa carta di plasticità. In base a questa scala si definiscono sei gruppi identificati ognuno da una lettera:

<b>Grossolani</b>	<b>G</b>	- Ghiaie
	<b>S</b>	- Sabbie
<b>Fini</b>	<b>M</b>	- Limi inorganici
	<b>C</b>	- Argille inorganiche
	<b>O</b>	- Limi e argille organiche
<b>Organici PT</b>		- Torba

I terreni grossolani vengono suddivisi in 6 sottogruppi in base alla distribuzione granulometrica, al coefficiente di uniformità e di curvatura e all’indice plastico del passante al setaccio N°40 per percentuali di fine maggiore del 12%.

Si hanno così:

**W** - Ben assortiti con una buona rappresentazione granulometrica di tutte le dimensioni di particelle;

**P** - Poco assortiti, uniformi con molte particelle della stessa dimensione, a volte con l’assenza di una o più classi intermedie;

**M** - Con limo;

**C** - Con argilla.

I terreni fini vengono suddivisi in 2 sottogruppi in base ai valori dei limiti di Atterberg, così come definiti dalla carta di plasticità (*Figura 9*):

**L** - Bassa plasticità;

**H** - Alta plasticità.



*Commissario Straordinario di Governo*  
*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

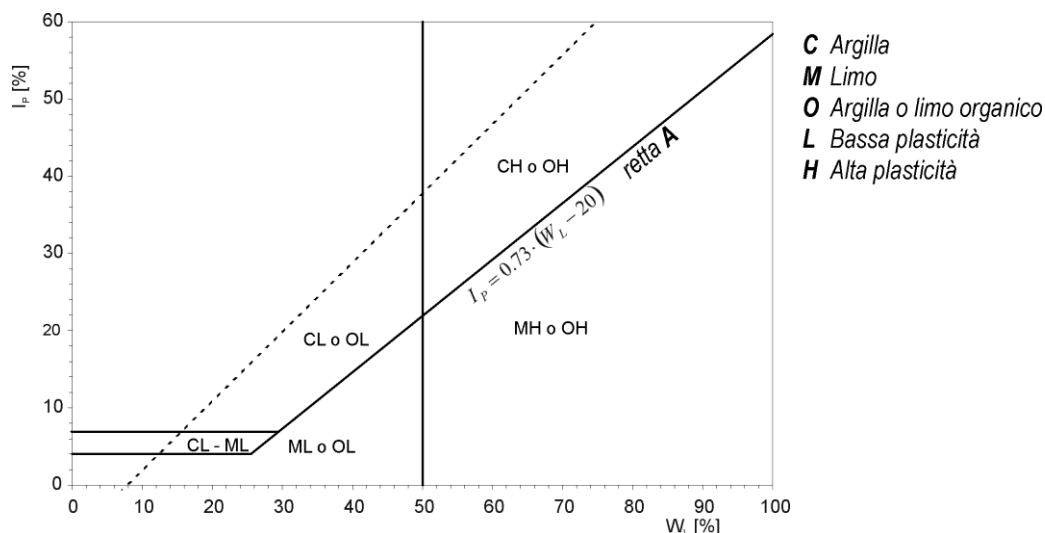


Figura 9 - Carta di plasticità o di Casagrande secondo le norme ASTM.

Utilizzando la metodologia U.S.C.S., si effettua una prima classificazione fra terreni grossolani (passante al setaccio N°200  $\leq 50\%$ ) e terreni fini (passante al setaccio N°200  $> 50\%$ ), e si procede alla classificazione in maniera diversa per i due gruppi. Per i terreni grossolani con una percentuale di passante al setaccio N°200  $P_{(0.075)} \leq 5\%$ , si calcolano i coefficienti di uniformità  $C_U$  e di curvatura  $C_c$ , definiti in Eq. 3, e si determina il passante al setaccio N° 4 (4.75 mm).

$$C_U = \frac{d_{60}}{d_{10}}; C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \cdot d_{60}} \quad \text{Eq. 3}$$

dove  $d_i$  rappresenta il diametro corrispondente al passante in peso pari ad una percentuale del  $i\%$ . In base ai valori di  $C_U$ ,  $C_c$  e la percentuale di passante  $P_{(4.75)}$ , il terreno si classifica secondo la Tabella 10.

$P_{(4.75)}$	$C_U$	$C_c$	Sigla	Descrizione
$< 50\%$	$\geq 4$	$1 \div 3$	GW	Ghiaia ben gradata
	$< 4$	$< 1; > 3$	GP	Ghiaia poco gradata
$\geq 50\%$	$\geq 6$	$1 \div 3$	SW	Sabbia ben gradata
	$< 6$	$< 1; > 3$	SP	Sabbia poco gradata

Tabella 10 - Classificazione U.S.C.S. per terreni con  $P_{(0.075)} \leq 5\%$ .

Per terreni grossolani con una percentuale di passante al setaccio N°200  $P_{(0.075)} > 12\%$ , si determinano i limiti di Atterberg sul materiale passante al setaccio N°40 (0.475 mm) e si confrontano con la carta di Casagrande, e si determina il passante al setaccio N°4 (4.75 mm). Sulla base di tali valori si classifica il terreno secondo la Tabella 11:

$P_{(4.75)}$	Carta di Casagrande	$I_p$	Sigla	Descrizione
$< 50\%$	sopra la linea A	$\geq 7$	GC	Ghiaia argillosa
	sotto la linea A	$\leq 4$	GM	Ghiaia limosa
$\geq 50\%$	sopra la linea A	$\geq 7$	SC	Sabbia argillosa
	sotto la linea A	$\leq 4$	SM	Sabbia limosa

Tabella 11 - Classificazione U.S.C.S. per terreni con  $P_{(0.075)} > 12\%$ .



*Commissario Straordinario di Governo*

*art. 1, comma 154, L. 445/2018*

Per terreni grossolani con una percentuale di passante al setaccio N°200  $P_{(0.075)}$  compresa tra il 5% e il 12%, si classifica la parte grossolana in base ai coefficienti  $C_u$  e  $C_c$ ; si classifica la parte fine in base alla carta di plasticità; si determina la percentuale di sabbia e di ghiaia e, a seconda se la percentuale maggiore è quella della sabbia o della ghiaia si procede alla classificazione seguendo una delle due tabelle (Tabella 12, Tabella 13):

$P_{(0.075)}$	$C_u$	$C_c$	Parte fine	Sigla	Sabbia	Descrizione
< 5%	$\geq 4$	$1 \div 3$		GW	< 15%	Ghiaia ben gradata
					$\geq 15\%$	Ghiaia ben gradata con sabbia
	< 4	< 1; > 3		GP	< 15%	Ghiaia poco gradata
					$\geq 15\%$	Ghiaia poco gradata con sabbia
5 ÷ 12%	$\geq 4$	$1 \div 3$	ML o MH	GW-GM	< 15%	Ghiaia ben gradata con limo
					$\geq 15\%$	Ghiaia ben gradata con limo e sabbia
			CL o CH o CL-ML	GW-GC	< 15%	Ghiaia ben gradata con argilla
					$\geq 15\%$	Ghiaia ben gradata con argilla e sabbia
	< 4	< 1; > 3	ML o MH	GP-GM	< 15%	Ghiaia poco gradata con limo
					$\geq 15\%$	Ghiaia poco gradata con limo e sabbia
			CL o CH o CL-ML	GP-GC	< 15%	Ghiaia poco gradata con argilla
					$\geq 15\%$	Ghiaia poco gradata con argilla e sabbia
> 12%			ML o MH	GM	< 15%	Ghiaia limosa
					$\geq 15\%$	Ghiaia limosa con sabbia
			CL o CH	GC	< 15%	Ghiaia argillosa
					$\geq 15\%$	Ghiaia argillosa con sabbia
			CL-ML	GC-GM	< 15%	Ghiaia limo-argillosa
					$\geq 15\%$	Ghiaia limo-argillosa con sabbia

*Tabella 12 - Classificazione U.S.C.S. per terreni con percentuale della ghiaia maggiore della sabbia.*

$P_{(0.075)}$	$C_u$	$C_c$	Parte fine	Sigla	Ghiaia	Descrizione
< 5%	$\geq 4$	$1 \div 3$		SW	< 15 %	Sabbia ben gradata
					$\geq 15 \%$	Sabbia ben gradata con sabbia
	< 4	< 1; > 3		SP	< 15 %	Sabbia poco gradata
					$\geq 15 \%$	Sabbia poco gradata con sabbia
5 ÷ 12%	$\geq 4$	$1 \div 3$	ML o MH	SW-SM	< 15 %	Sabbia ben gradata con limo
					$\geq 15 \%$	Sabbia ben gradata con limo e sabbia
			CL o CH o CL-ML	SW-SC	< 15 %	Sabbia ben gradata con argilla
					$\geq 15 \%$	Sabbia ben gradata con argilla e sabbia
	< 4	< 1; > 3	ML o MH	SP-SM	< 15 %	Sabbia poco gradata con limo
					$\geq 15 \%$	Sabbia poco gradata con limo e sabbia
			CL o CH o CL-ML	SP-SC	< 15 %	Sabbia poco gradata con argilla
					$\geq 15 \%$	Sabbia poco gradata con argilla e sabbia
> 12%			ML o MH	SM	< 15 %	Sabbia limosa
					$\geq 15 \%$	Sabbia limosa con sabbia
			CL o CH	SC	< 15 %	Sabbia argillosa
					$\geq 15 \%$	Sabbia argillosa con sabbia
			CL-ML	SC-SM	< 15 %	Sabbia limo-argillosa
					$\geq 15 \%$	Sabbia limo-argillosa con sabbia

*Tabella 13 - Classificazione U.S.C.S. per terreni con percentuale della ghiaia minore della sabbia.*



*Commissario Straordinario di Governo*

*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

Per i terreni a grana fine è necessario verificare la presenza di sostanza organica e si classifica il materiale in base alla carta di plasticità di Casagrande. Si determinano le percentuali di passante al setaccio N°200 e le percentuali di sabbia e ghiaia; successivamente il terreno si classifica in base alle seguenti tabelle (Tabella 14, Tabella 15):

Carta di plasticità	T <sub>(0.075)</sub>		Ghiaia	Sabbia	Descrizione
CL	< 15				Argilla di bassa plasticità
	15 ÷ 29	S ≥ G			Argilla di bassa plasticità con sabbia
		S < G			Argilla di bassa plasticità con ghiaia
	≥ 30	S ≥ G	< 15 %		Argilla sabbiosa di bassa plasticità
			≥ 15 %		Argilla sabbiosa di bassa plasticità con ghiaia
		S < G		< 15 %	Argilla ghiaiosa di bassa plasticità
				≥ 15 %	Argilla ghiaiosa di bassa plasticità con sabbia
CL-ML	< 15				Argilla limosa di bassa plasticità
	15 ÷ 29	S ≥ G			Argilla limosa di bassa plasticità con sabbia
		S < G			Argilla limosa di bassa plasticità con ghiaia
	≥ 30	S ≥ G	< 15 %		Argilla sabbiosa e limo di bassa plasticità
			≥ 15 %		Argilla sabbiosa e limo di bassa plasticità con ghiaia
		S < G		< 15 %	Argilla ghiaiosa e limo di bassa plasticità
				≥ 15 %	Argilla ghiaiosa e limo di bassa plasticità con sabbia
ML	< 15				Limo di bassa plasticità
	15 ÷ 29	S ≥ G			Limo di bassa plasticità con sabbia
		S < G			Limo di bassa plasticità con ghiaia
	≥ 30	S ≥ G	< 15 %		Limo sabbiosa di bassa plasticità
			≥ 15 %		Limo sabbiosa di bassa plasticità con ghiaia
		S < G		< 15 %	Limo ghiaiosa di bassa plasticità
				≥ 15 %	Limo ghiaiosa di bassa plasticità con sabbia
Carta di plasticità	T <sub>(0.075)</sub>		Ghiaia	Sabbia	Descrizione
CH	< 15				Argilla di alta plasticità
	15 ÷ 29	S ≥ G			Argilla di alta plasticità con sabbia
		S < G			Argilla di alta plasticità con ghiaia
	≥ 30	S ≥ G	< 15 %		Argilla sabbiosa di alta plasticità
			≥ 15 %		Argilla sabbiosa di alta plasticità con ghiaia
		S < G		< 15 %	Argilla ghiaiosa di alta plasticità
				≥ 15 %	Argilla ghiaiosa di alta plasticità con sabbia
MH	< 15				Limo di alta plasticità
	15 ÷ 29	S ≥ G			Limo di alta plasticità con sabbia
		S < G			Limo di alta plasticità con ghiaia
	≥ 30	S ≥ G	< 15 %		Limo sabbiosa di alta plasticità
			≥ 15 %		Limo sabbiosa di alta plasticità con ghiaia
		S < G		< 15 %	Limo ghiaiosa di alta plasticità
				≥ 15 %	Limo ghiaiosa di alta plasticità con sabbia

Tabella 14 - Classificazione U.S.C.S. per terreni fini inorganici.

Carta di plasticità	T <sub>(0.075)</sub>		Ghiaia	Sabbia	Descrizione
OL o OH Sopra la retta A	< 15				Argilla organica
	15 ÷ 29	S ≥ G			Argilla organica con sabbia
		S < G			Argilla organica con ghiaia





*Commissario Straordinario di Governo*  
*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

	$\geq 30$	$S \geq G$	$< 15 \%$		Argilla organica sabbiosa
			$\geq 15 \%$		Argilla organica sabbiosa con ghiaia
		$S < G$		$< 15 \%$	Argilla organica ghiaiosa
				$\geq 15 \%$	Argilla organica ghiaiosa con sabbia
OL o OH Sotto la retta A	$< 15$				Limo organica
	$15 \div 29$	$S \geq G$			Limo organica con sabbia
		$S < G$			Limo organica con ghiaia
	$\geq 30$	$S \geq G$	$< 15 \%$		Limo organica sabbiosa
			$\geq 15 \%$		Limo organica sabbiosa con ghiaia
		$S < G$		$< 15 \%$	Limo organica ghiaiosa
				$\geq 15 \%$	Limo organica ghiaiosa con sabbia

*Tabella 15 - Classificazione U.S.C.S. per terreni fini organici.*

### Analisi granulometrica

Per la determinazione della *curva granulometrica* si fa riferimento a quanto riportato nelle seguenti norme:

**AASHTO** T27, T88;

**ASTM** D2216-80, D2974-87;

**BS** 1377: Part 2:1990;

**UNI CEN** ISO/TS 17892-4.

L'obiettivo dell'analisi granulometrica è quello di raggruppare, in diverse classi le particelle costituenti il terreno, e di determinare le percentuali in peso di ciascuna classe, riferendole al peso secco del campione.

La quantità di materiale da utilizzare durante la prova, e la sensibilità della bilancia, dipendono dalle dimensioni dei granuli più grandi secondo la seguente tabella (*Tabella 16*). Per l'analisi dei materiali con diametro dei granuli minore di 0.425 mm possono bastare 50 g di materiale secco.

Diametro max granuli (mm)	Peso minimo del campione (g)	Sensibilità bilancia (g)
2.0	115	0.01 ÷ 0.1
9.5	500	
19.0	1000	
25.4	2000	
38.1	3000	
50.88	4000	0.1
76.2	5000	

*Tabella 16 - Quantità minima di materiale da utilizzare e sensibilità della bilancia da usare in base al diametro massimo dei granuli presenti.*



*Commissario Straordinario di Governo*  
*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

Il metodo di analisi differisce a seconda delle dimensioni del materiale:

*Stacciatura per via secca* per materiali prevalentemente sabbiosi e/o ghiaiosi sciolti e privi di materiale fine;

*Stacciatura per via umida* per materiali prevalentemente sabbiosi e/o ghiaiosi con possibile presenza di fine;

*Sedimentazione* per materiali limosi e argillosi.

Se il campione presenta sia la frazione grossolana sia la frazione fine, esso sarà sottoposto alla stacciatura al setaccio di maglia 0.425 mm. La porzione di campione trattenuta sarà analizzata per via umida, mentre il passante sarà analizzato per sedimentazione.

Per la rappresentazione della curva granulometrica si potrà utilizzare una delle scale proposte dalle diverse normative esistenti, con particolare riguardo a quella proposta dall'Associazione Geotecnica Italiana A.G.I. (Figura 10).

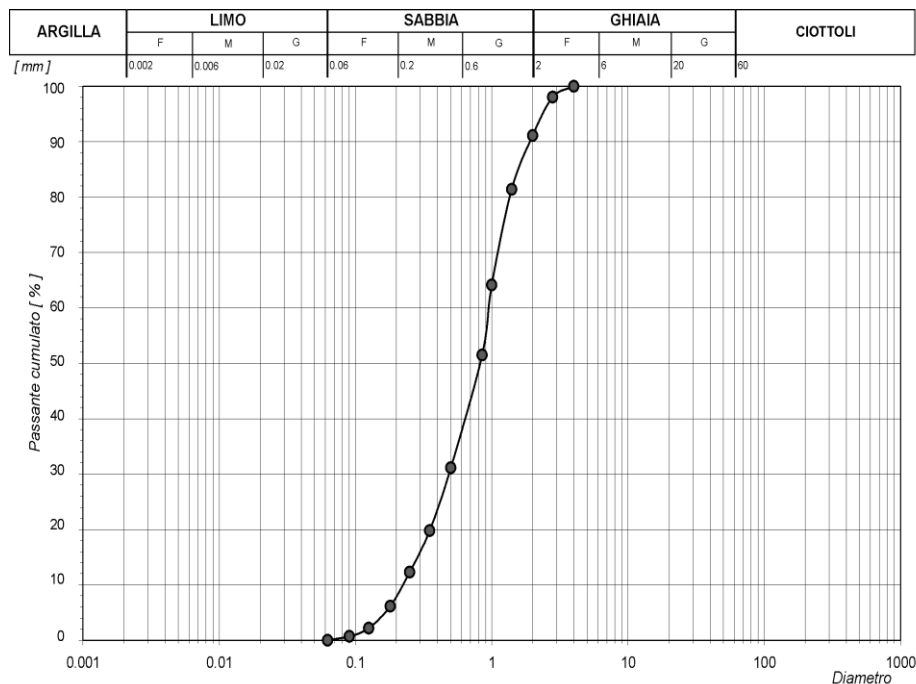
Unified											
ARGILLA o LIMO		SABBIA					GHIAIA			CIOTTOLI	
		F		M	G	F	G				
[ mm ]		0.05		0.42	2	5	19	71			
U.S.D.A.											
ARGILLA	LIMO	SABBIA					GHIAIA			CIOTTOLI	
		MF	F	M	G	MG	F	M	G		
[ mm ]	0.002	0.05	0.1	0.25	0.5	1	2	6	20	60	
AASHTO											
ARGILLA	LIMO	SABBIA					GHIAIA			CIOTTOLI	
		F		G		F	M	G			
[ mm ]	0.005	0.05		0.42	2	10	25	71			
DIN 4022 (1969)											
ARGILLA	LIMO			SABBIA			GHIAIA			CIOTTOLI	
	F	M	G	F	M	G	F	M	G		
[ mm ]	0.002	0.006	0.02	0.06	0.2	0.6	2	10	25	71	
CNR-UNI 10006 (1963)											
ARGILLA	LIMO	SABBIA	GHIAIA			CIOTTOLI e PIETRE					
			Brecciolino	Breccetta	Breccia						
[ mm ]	0.005	0.05	2	10	25	71					
ASTM D2488-84											
ARGILLA e LIMO		SABBIA			GHIAIA		CIOTTOLI	MASSI			
		F	M	G	F	G					
[ mm ]		0.075	0.425	2	4.75	19	75	300			
BS 5930 : 1981											
ARGILLA	LIMO			SABBIA			GHIAIA			CIOTTOLI	MASSI
	F	M	G	F	M	G	F	M	G		
[ mm ]	0.002	0.006	0.02	0.06	0.2	0.6	2	6	20	60	200
M.I.T. (1931)											
ARGILLA	LIMO			SABBIA			GHIAIA	CIOTTOLI			
	F	M	G	F	M	G					
[ mm ]	0.002	0.006	0.02	0.06	0.2	0.6	2	60			
A.G.I. (1990)											
ARGILLA	LIMO			SABBIA			GHIAIA			CIOTTOLI	
	F	M	G	F	M	G	F	M	G		
[ mm ]	0.002	0.006	0.02	0.06	0.2	0.6	2	6	20	60	

Figura 10 - Scale granulometriche di riferimento rielaborate da Raviolo (1993).



*Commissario Straordinario di Governo*  
*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

Le diverse porzioni di curva granulometrica, determinate con i metodi sopra esposti, dovranno essere raccordate e diagrammate come nell'esempio di *Figura 11*. I valori numerici dovranno essere anche forniti in formato tabellare.



*Figura 11 - Rappresentazione grafica della curva granulometrica.*

(mm)

## Proprietà indice

### Peso specifico dei grani

Per la determinazione del *peso specifico dei grani* si fa riferimento a quanto riportato nelle seguenti norme:

ASTM D854; C127.

Il peso specifico dei granelli viene definito come il peso unitario del materiale stesso riferito alla densità dell'acqua alla temperatura di 4°C, e può essere calcolato come il rapporto tra il peso di un determinato volume di terreno e il peso del volume di acqua distillata spostato dallo stesso, come riportato dall'equazione Eq. 4:

$$G_S = \frac{\gamma_{mat}}{\gamma_W} = \frac{\frac{P_S}{V_0}}{\frac{P_W}{V_0}} = \frac{P_S}{P_W} \quad Eq. 4$$

dove:

$G_S$  = peso specifico

$\gamma_{mat}$  = peso di volume del materiale

$\gamma_W$  = peso di volume dell'acqua a 4° C

$P_S$  = peso delle particelle solide



*Commissario Straordinario di Governo*  
*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

$P_W$  = peso dell'acqua a 4° C

La determinazione del volume si effettua tramite l'utilizzo di picnometri in vetro termoresistente, della capacità di  $50 \div 100 \text{ cm}^3$ , corredati di tappo in vetro smerigliato, munito di foro per l'espulsione dell'acqua in eccesso.

La massima dimensione dei granelli del campione di terreno deve essere inferiore a 4.75 mm (passante al setaccio N°4). Nel caso le dimensioni delle particelle siano maggiori non è possibile l'uso del picnometro e si dovrà ricorrere ad altri metodi. In particolare quando è presente sia del materiale passante al setaccio N°4 sia trattenuto a tale setaccio, le due frazioni dovranno essere analizzate separatamente e il peso specifico si otterrà come media dei due valori (Eq. 5):

$$G_S = \frac{1}{\frac{P_T}{100 \cdot G_T} + \frac{P_P}{100 \cdot G_P}} \quad \text{Eq. 5}$$

dove:

$G_S$  = peso specifico

$P_T$  = percentuale di materiale trattenuto al setaccio N°4

$P_P$  = percentuale di materiale passante al setaccio N°4

$G_T$  = peso specifico del materiale trattenuto al setaccio N°4

$G_P$  = peso specifico del materiale passante al setaccio N°4

La prova deve essere ripetuta in modo da ottenere una media di almeno tre determinazioni che non differiscano più di  $0.03 \text{ g/cm}^3$  o più dello 1%.

### **Contenuto naturale d'acqua**

Per la determinazione del *contenuto naturale d'acqua* si fa riferimento a quanto riportato nelle seguenti norme:

**ASTM D2216-80; D2974-87.**

Il contenuto naturale d'acqua di un terreno è definito come il rapporto tra il peso della fase liquida e il peso della fase solida e viene solitamente espresso in percentuale (Eq. 6):

$$w = \frac{P_W}{P_S} \cdot 100 \quad \text{Eq. 6}$$

dove:

$w$  = contenuto d'acqua

$P_W$  = peso della fase liquida

$P_S$  = peso della fase solida

La procedura deve essere ripetuta per almeno tre campioni distinti e separati. Il contenuto naturale d'acqua sarà la media delle diverse determinazioni.

### **Peso di volume**

Per la determinazione del *peso di volume* si fa riferimento a quanto riportato nelle seguenti norme:



*Commissario Straordinario di Governo*  
*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

**BS 1377:1975 Test 15.**

Il peso di volume del terreno è definito come il rapporto tra il peso dell'intero campione ed il volume totale dello stesso comprensivo di parte solida e vuoti interni (Eq. 7):

$$\gamma = \frac{P_U}{V} \quad \text{Eq. 7}$$

dove:

$\gamma$  (g/cm<sup>3</sup>) = peso di volume

$P_U$  (g) = peso umido del campione

$V$  (cm<sup>3</sup>) = volume complessivo del campione

La procedura deve essere ripetuta per almeno tre campioni distinti e separati. Il peso di volume sarà la media delle diverse determinazioni.

### **Limiti di Atterberg**

Per la determinazione dei *limiti di consistenza* o di *Atterberg* si fa riferimento a quanto riportato nelle seguenti norme:

**AASHTO** T89; T90; T92;

**ASTM** D2216-80; D2974-87;

**BS** 1377: Part 2:1990;

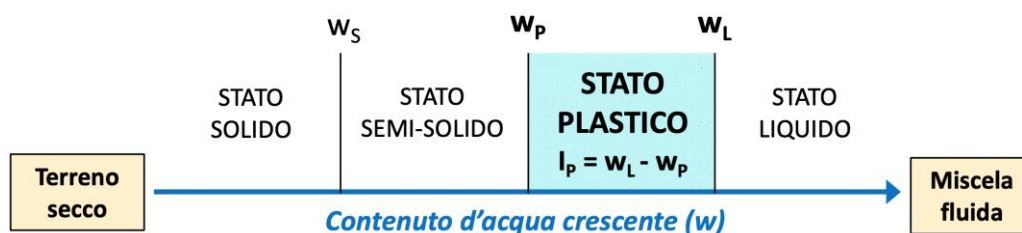
**CNR-UNI** 10014.

I limiti di Atterberg, di seguito elencati, definiscono il passaggio tra le diverse tipologie di consistenza in cui può trovarsi un terreno come mostrato in *Figura 12*:

$w_S$ , limite di ritiro (di cui non è richiesta l'esecuzione);

$w_P$ , limite di plasticità;

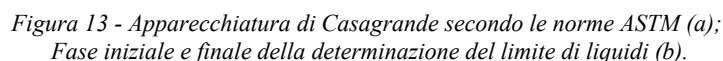
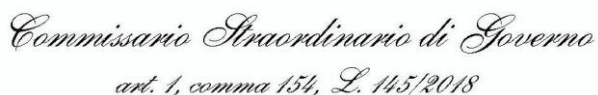
$w_L$ , limite di liquidità.



*Figura 12 – Definizione dei limiti di consistenza.*

### **Limite di liquidità**

Il *limite di liquidità* è definito come quel contenuto d'acqua per il quale un campione di argilla, posto in una coppa di ottone di dimensioni normalizzate (*Figura 13-a*), suddiviso in due parti da un apposito utensile solcatore e fatto rimbalzare da una altezza di 10 mm per 25 volte, determina la chiusura del solco per una lunghezza di 13 mm (*Figura 13-b*).



Per evitare un'eccessiva dispersione dei punti nel diagramma si ritengono valide le prove comprese tra un numero minimo di colpi pari a 10 ed un numero massimo di 50.



AFNOR;  
Bureau de Normalisation Quebec;  
Swedish Standard.





*Commissario Straordinario di Governo*  
*art. 1, comma 154, L. 445/2018*



Figura 15 – Esempio di penetrometro a cono.

Tale prova si basa sulla misura della penetrazione di una punta conica all'interno del terreno (Figura 16-a), in particolare, il valore del limite di liquidità corrisponderà ad una penetrazione della punta pari a 20.0 mm (Figura 16-b).

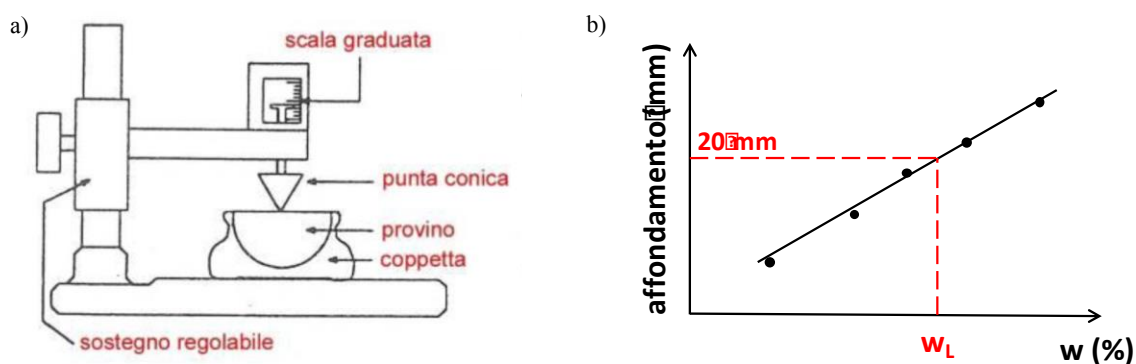


Figura 16 – Penetrometro a cono: schema di prova (a); determinazione di  $w_L$  (b).

### ▪ Limite di plasticità

Il *limite di plasticità* è il contenuto d'acqua per il quale un bastoncino di argilla, plasmato più volte manualmente fino a portarlo al diametro di 3 mm, tende a sbriciolarsi e a sviluppare delle fessure a causa della riduzione di umidità (Figura 17). Sulle determinazioni eseguite si effettua quindi una media.



Figura 17 – Esecuzione del limite di plasticità.



*Commissario Straordinario di Governo*  
*art. 1, comma 154, L. 445/2018*

## Carta di Casagrande

I valori del limite di liquidità dei materiali dovranno essere riportati sulla *Carta di plasticità di Casagrande*. Alcuni esempi sono riportati in *Figura 9*, **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, *Figura 18* e *Figura 19*.

A tale scopo andrà determinato il valore dell'*indice di plasticità*  $I_P$ , definito dall'Eq. 8:

$$I_P = w_L - w_P$$

Eq. 8

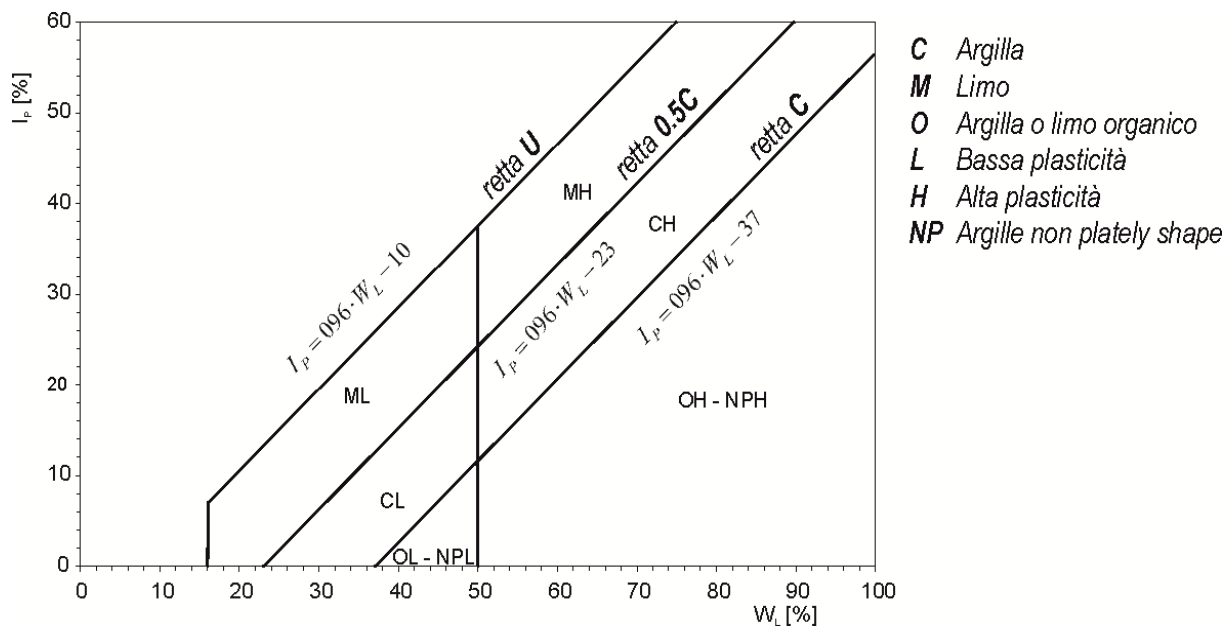


Figura 18 - Carta di plasticità di Casagrande secondo Polidori & Gori (2005).

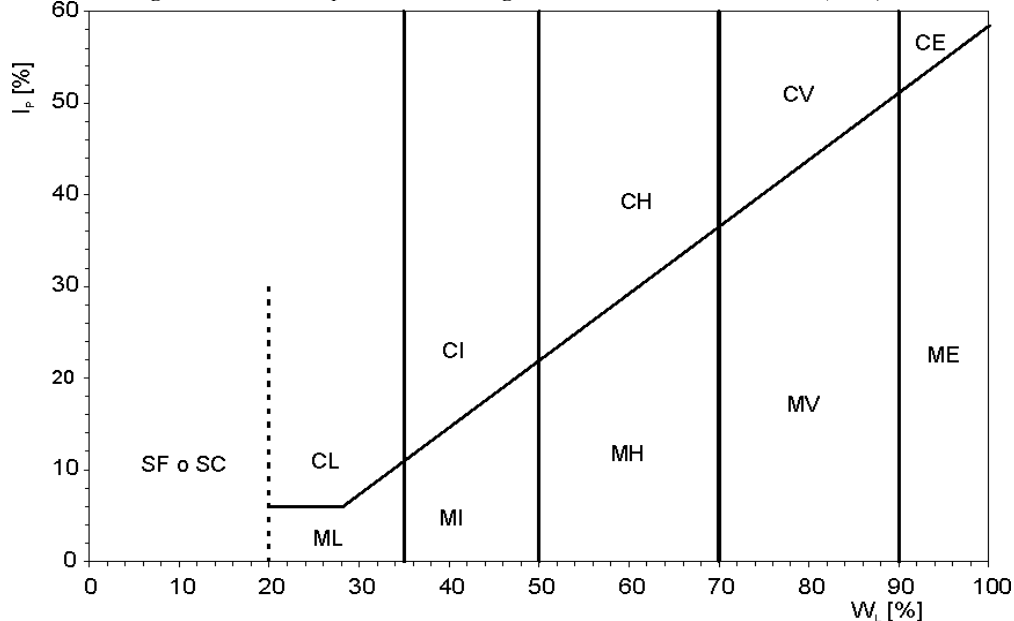


Figura 19 - Carta di plasticità di Casagrande secondo le norme BS.



*Commissario Straordinario di Governo*  
*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

## CARATTERIZZAZIONE MECCANICA

Le *caratteristiche meccaniche* dei terreni sono quelle proprietà che il terreno esplica per effetto di sollecitazioni imposte. Di seguito si descrivono brevemente i criteri per effettuare le seguenti prove di laboratorio: *prova edometrica, prova di taglio diretto*.

### Prova edometrica

Per l'esecuzione della *prova di compressione edometrica* si fa riferimento a quanto riportato nelle seguenti norme:

ASTM D2435; D4186; D4546;

AGI 1994.

La prova di compressione edometrica permette di:

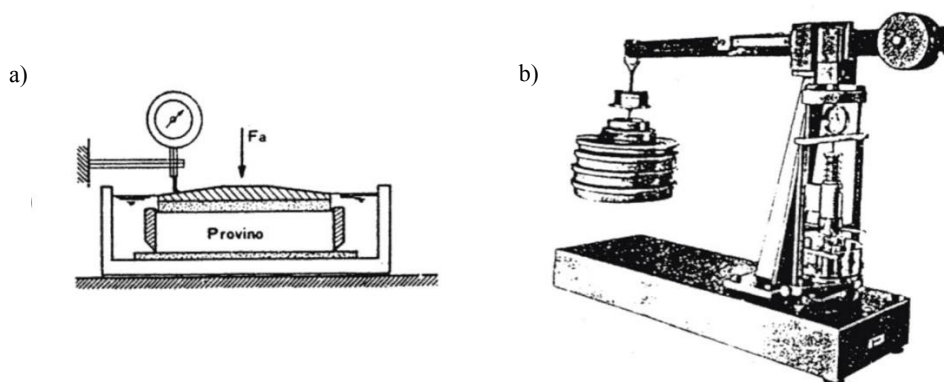
determinare la relazione tensione-deformazione che caratterizza le proprietà di *compressibilità e di rigonfiamento* per effetto di variazioni di stato tensionale effettivo in condizioni monodimensionali;

determinare le caratteristiche che governano la variabilità di tali deformazioni nel tempo, per effetto dei fenomeni di *consolidazione primaria e secondaria*;

ricostruire la *storia tensionale* del deposito naturale da cui è stato prelevato il campione.

La prova consiste nell'applicare una sequenza di carichi verticali ad un provino cilindrico confinato lateralmente per mezzo di un anello metallico, in modo che le deformazioni e il flusso dell'acqua avvengano solo in direzione verticale. Il metodo prevede l'applicazione di una sequenza di carichi, ciascuno dei quali mantenuto costante per un periodo di tempo (di norma 24h) sufficiente a garantire la completa dissipazione delle sovrappressioni dell'acqua interstiziale generate dal carico stesso. Nel corso del processo di consolidazione viene rilevata l'altezza del provino a vari istanti di tempo, e i dati così ottenuti sono utilizzati per determinare i parametri di compressibilità e la velocità di consolidazione.

In *Figura 20* si riporta il classico schema dell'apparecchiatura edometrica.



*Figura 20 – Prova edometrica: provino (a); schema dell'apparecchiatura.*



*Commissario Straordinario di Governo*  
*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

Il provino deve avere diametro minimo di 50 mm e altezza minima di 13 mm, con rapporto D/H non inferiore a 2.5 e non superiore a 6. In nessun caso l'altezza del provino può essere inferiore a dieci volte la massima dimensione delle particelle costituenti il materiale sottoposto alla prova.

Per il campionamento del provino, il diametro del campione deve essere maggiore del diametro interno dell'anello edometrico, di almeno 10 mm. Si infigge in tale campione l'anello, e si rendono le estremità superiore e inferiore del provino complanari a quelle dell'anello. Se il provino risulta danneggiato per la presenza di inclusioni, esso va rimosso e sostituito. Il provino va preparato in una camera con umidità controllata, in modo da minimizzare fenomeni di evaporazione. In ogni caso le condizioni ambientali devono essere tali da assicurare che durante la preparazione il provino non subisca variazioni del contenuto d'acqua maggiori dell'1%. Nel corso della prova la temperatura ambiente deve essere mantenuta, per quanto possibile, costante e comunque le sue escursioni devono essere contenute in un intervallo di  $\approx 4$  °C.

L'acqua immessa nel contenitore dovrebbe idealmente avere la stessa concentrazione ionica dell'acqua contenuta nel campione. Se questa non è stata preventivamente accertata va usata acqua distillata.

Gli incrementi di pressione verticale  $\Delta\sigma_v$  sono applicati secondo la seguente progressione geometrica:

10 – 20 – 50 – 100 – 200 – 400 – 800 – 1600 – 3200 – 6400 kPa

A seconda del caso la prova può essere terminata a 3200 kPa o 6400 kPa.

La fase di scarico non potrà essere effettuata in un unico step e di norma va attuata con un numero di gradini pari ad almeno la metà di quelli relativi agli incrementi di carico effettuati.

Cicli di carico differenti da quelli proposti dovranno essere espressamente richiesti e concordati con l'ente.

Ogni incremento di carico va mantenuto costante nel tempo finché non si sviluppa completamente la consolidazione primaria, e vengano così garantiti la dissipazione delle sovrappressioni neutre ed il trasferimento dell'incremento di tensioni totali in tensioni effettive. A tale scopo, generalmente è sufficiente una durata di 24h dell'applicazione del carico.

Le letture dei cedimenti vanno eseguite ad intervalli di tempo secondo la seguente progressione geometrica:

0.10 – 0.25 – 0.5 – 1 – 2 – 4 – 8 – 15 – 30 – 60 – 120 – 240 – 480 – 1440 min

Nel caso in cui i materiali presentino fenomeni di rigonfiamento alle condizioni di carico applicate, detti fenomeni devono essere contrastati passando al gradino di carico successivo prima delle 24 h.

L'ente potrà richiedere l'esecuzione di un ciclo di scarico-ricarico per una più attendibile determinazione dei parametri relativi alla fase di ricompressione.



*Commissario Straordinario di Governo*  
*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

I risultati sperimentali devono in genere essere depurati degli abbassamenti prodotti dalla deformabilità dell'apparecchiatura e dai difetti di planarità delle superfici di carico e delle pietre porose.

Per ogni gradino di carico si diagrammano i cedimenti/rigonfiamenti in funzione del  $\log t$  (Figura 21).

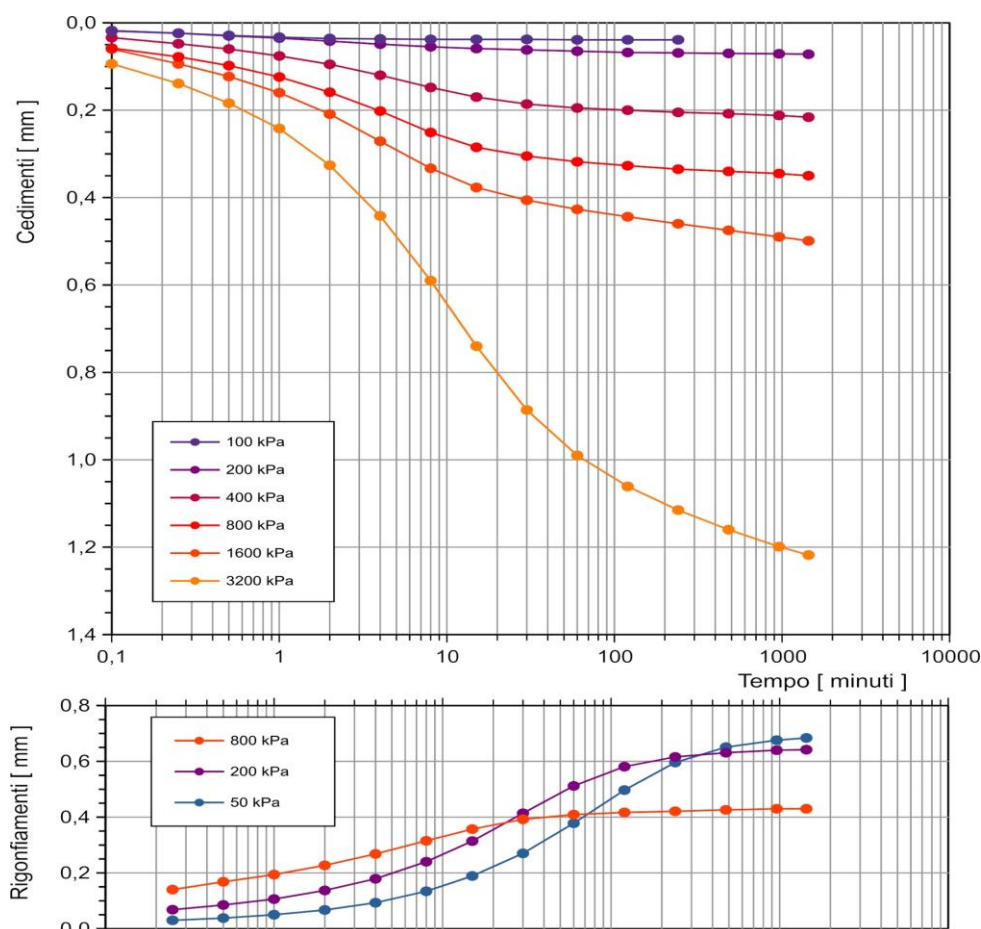


Figura 21 - Esempio grafico cedimenti – tempo e rigonfiamento – tempo.

Successivamente con il cedimento massimo misurato per ogni carico si calcolerà il valore dell'indice dei vuoti  $e$  (Eq. 9):

$$e = e_0 - \varepsilon_V \cdot (1 + e_0) \quad \text{Eq. 9}$$

dove:

$e$  = indice dei vuoti

$e_0$  = indice dei vuoti iniziale  $e_0 = \frac{G_s}{\gamma_d} - 1$

$G_s$  = peso specifico dei grani

$\gamma_d$  = peso di volume secco iniziale

$\varepsilon_V$  = deformazione verticale  $\varepsilon_V = \frac{\delta H}{H} \cdot 100$

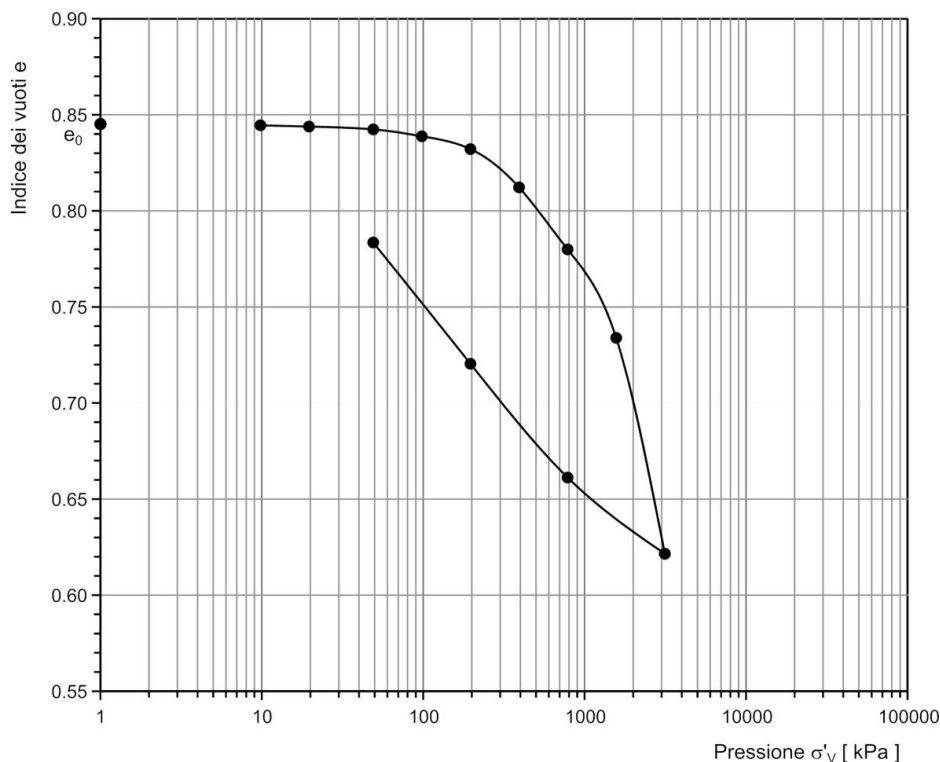
$\delta H$  = cedimento alla fine di ogni carico

$H$  = altezza iniziale del provino



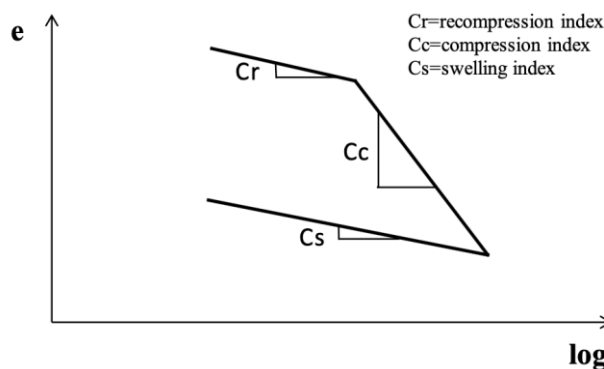
*Commissario Straordinario di Governo*  
*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

I risultati della prova edometrica sono in genere diagrammati nel piano semilogaritmico, come mostrato in *Figura 22*.



*Figura 22 - Esempio di grafico indice dei vuoti – tensione verticale efficace applicata.*

Dall'interpretazione dei risultati possono essere dedotti i tre parametri sintetici: il coefficiente di ricomprensione **Cr**, di comprimibilità **Cc** e di scarico **Cs** (*Figura 23*).



*Figura 23 – Rappresentazione dei parametri sintetici della prova edometrica.*

Per ogni gradino di carico può essere determinato il modulo edometrico, il coefficiente di consolidazione primaria mediante il Metodo di Casagrande o di Taylor, ed il coefficiente di permeabilità  $k$ .

Per la prova edometrica si dovrà pertanto produrre:

9. profondità, posizione e orientamento del provino all'interno del campione;
10. identificazione dell'apparecchiatura (anello fisso/flottante, drenaggio doppio/singolo, uso di carta da filtro, lubrificazione dell'anello, taratura della deformabilità del sistema, ecc...);





## Commissario Straordinario di Governo

art. 1, comma 154, L. 145/2018

11. dimensioni iniziali del provino e metodo di preparazione;
12. contenuto d'acqua iniziale, peso di volume umido e secco;
13. indice dei vuoti e grado di saturazione iniziali;
14. temperatura di esecuzione della prova;
15. grafico della curva di compressibilità, rappresentando in scala semi-logaritmica la tensione applicata in funzione della variabile prescelta per la deformazione ( $e$  o  $\varepsilon_z$ ), inclusi eventuali rami di scarico e ricarico;
16. curve di consolidazione (cedimenti in funzione del logaritmo o della radice quadrata del tempo) per ogni incremento di carico;
17. parametri di compressibilità e rigonfiamento, insieme al metodo di calcolo;
18. coefficienti di consolidazione primaria  $C_v$  e metodo usato per la determinazione;
19. coefficienti di compressione secondaria  $C_\alpha$  e metodo usato per la determinazione;
20. tensione di preconsolidazione e metodo usato per la determinazione;
21. permeabilità calcolata in maniera indiretta e relazione usata per la determinazione.

### Prova di taglio diretto consolidata drenata (CD) per la determinazione della resistenza di picco

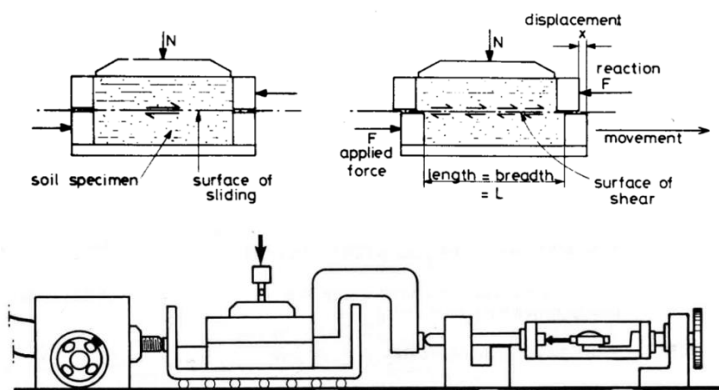
Per l'esecuzione della *prova di taglio diretto* si fa riferimento a quanto riportato nelle seguenti norme:

ASTM D3080-73;

AGI 1994.

Obiettivo di questa prova è determinare le caratteristiche di resistenza a taglio di un terreno in condizioni drenate, mediante interpretazione della relazione  $\tau - \sigma'$  nel piano di Mohr.

La prova può essere effettuata su campioni ricostruiti di materiali sabbiosi e su campioni indisturbati o ricostituiti di materiali coesivi. Il provino è posto all'interno di due telai orizzontali, che possono scorrere uno rispetto all'altro (*Figura 24*). Le sollecitazioni applicate sono costituite dalla pressione verticale  $\sigma_v$  e dallo sforzo di taglio orizzontale  $\tau$ . Nel corso della prova vengono misurati i cedimenti verticali del provino e gli spostamenti relativi tra i due telai orizzontali. La prova viene eseguita in condizioni consolidate drenate (CD).





*Commissario Straordinario di Governo*  
*art. 1, comma 154, L. 445/2018*

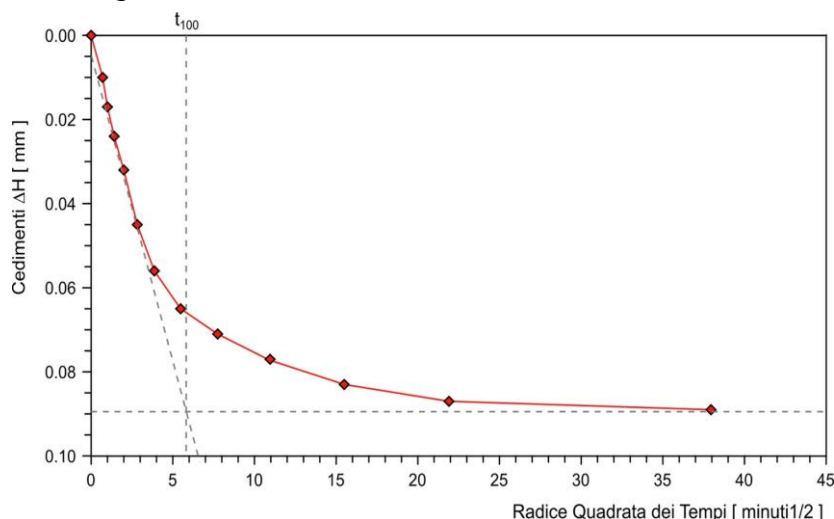
*Figura 24 – Apparecchiatura di taglio diretto.*

Le modalità di preparazione dei provini dipendono dal tipo di terreno e dal tipo di prova che si intende eseguire. Il diametro dei provini (nel caso di provini cilindrici) o il loro lato (se a sezione quadrata) non deve essere inferiore a 50.0 mm. L'altezza minima deve essere pari a 12.5 mm, e comunque non inferiore a 6 volte la dimensione di eventuali inclusioni. In ogni caso il rapporto diametro-altezza o lato-altezza deve essere pari o superiore a 2. Se si sottopongono a prova dei campioni indisturbati, il volume del campione deve essere tale da consentire la preparazione di almeno tre provini.

Il provino andrebbe preparato in una camera ad umidità controllata, in modo da minimizzare fenomeni di evaporazione. In ogni caso le condizioni ambientali devono essere tali da assicurare che durante la preparazione il provino non subisca variazioni del contenuto d'acqua superiori all'1%.

Tranne i casi in cui si voglia sottoporre a prova il provino in condizioni di parziale saturazione o allo stato secco, normalmente esso deve essere ricoperto con acqua distillata a temperatura ambiente per garantirne la saturazione.

Durante la fase di consolidazione si misura e si diagramma il cedimento in funzione della radice quadrata del tempo (*Figura 25*). Con i metodi noti da letteratura si determina il valore  $t_{100}$  in cui si assume il termine della consolidazione primaria, utile per la determinazione della velocità di esecuzione della fase di taglio.



*Figura 25- Esempio di determinazione grafica del  $t_{100}$ , utile per il calcolo della velocità di taglio.*

Per individuare l'involuppo a rottura si esegue la prova di taglio almeno su tre provini, consolidati ognuno sotto una diversa pressione verticale. Di conseguenza ogni singolo provino viene dapprima consolidato sotto un prescelto valore della pressione verticale di consolidazione, misurando accuratamente l'andamento degli assestamenti verticali nel tempo. Il livello tensionale sotto il quale va consolidato ogni singolo provino deve essere rappresentativo del problema in esame, e va pertanto opportunamente determinato di volta in volta. L'acqua va immessa una volta raggiunta una pressione verticale in corrispondenza della quale il provino manifesta tendenza alla compressione.



*Commissario Straordinario di Governo*  
*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

Ultimata la fase di consolidazione, si impone una velocità di spostamento orizzontale sufficientemente lenta da consentire la dissipazione delle sovrappressioni interstiziali generatesi eventualmente durante tale fase. Nelle suddette condizioni, le tensioni totali applicate al provino coincidono con quelle efficaci.

Andranno successivamente diagrammati:

lo sforzo tangenziale in funzione dello spostamento orizzontale (Figura 26);

il cedimento verticale in funzione dello spostamento orizzontale (Figura 26);

lo sforzo tangenziale di picco  $\tau$  in funzione della pressione verticale  $\sigma'_v$  applicata (Figura 27).

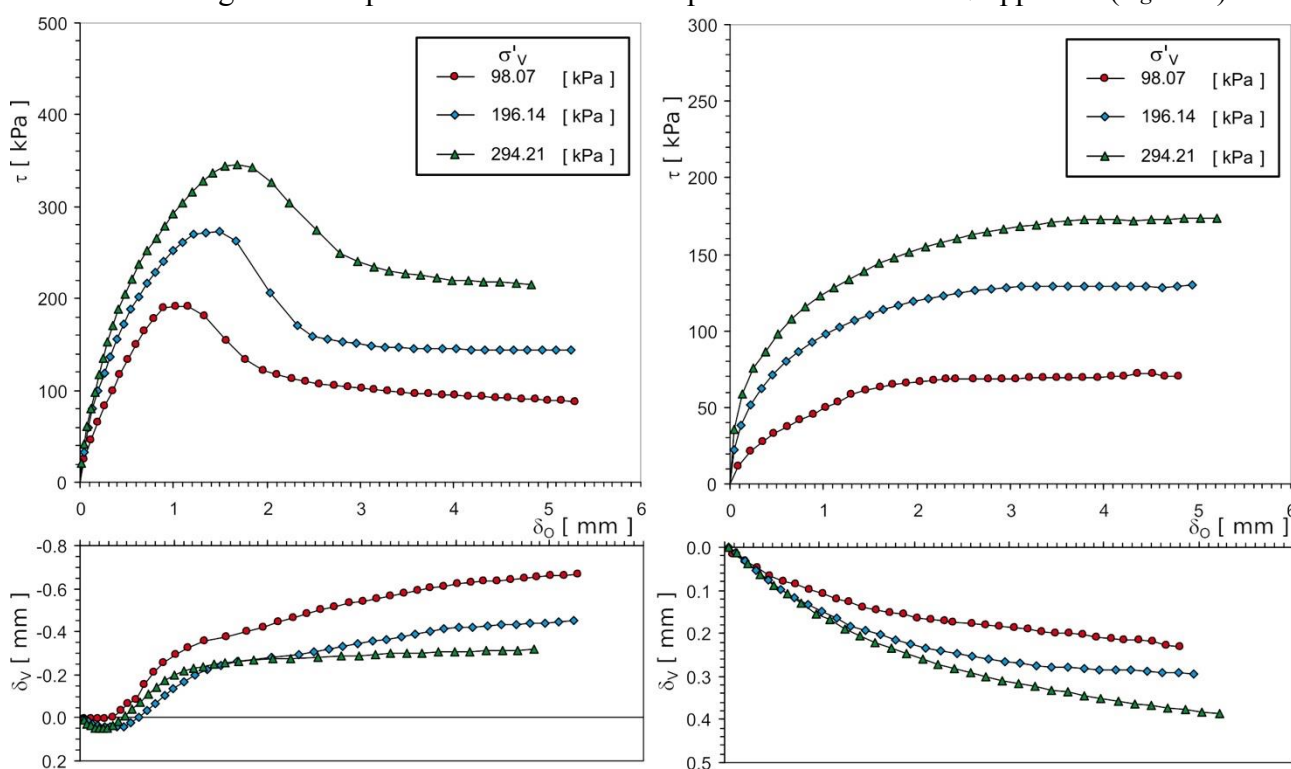


Figura 26 - Esempio di diagramma sforzo tangenziale – spostamento orizzontale e spostamento verticale – spostamento orizzontale della prova di taglio diretto.

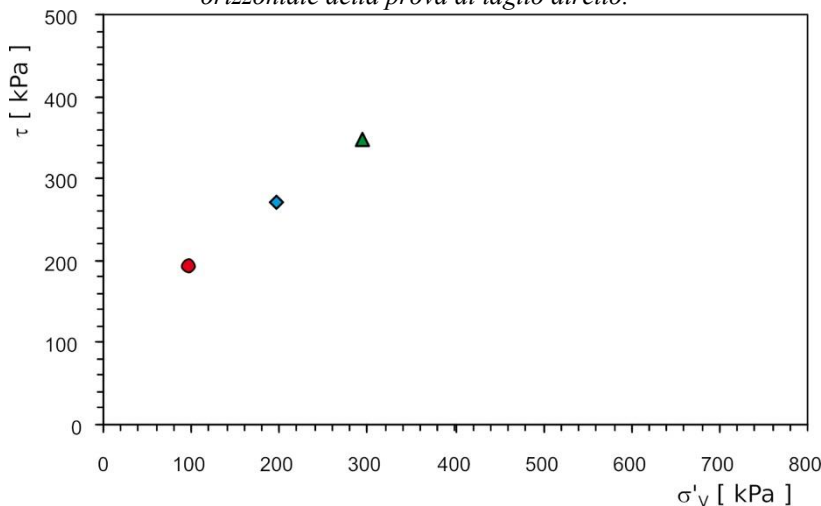


Figura 27 - Esempio di diagramma sforzo tangenziale di picco – tensione verticale efficace della prova di taglio diretto.



*Commissario Straordinario di Governo*  
*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

Nel caso non si disponga di materiale di qualità idonea all'esecuzione della prova per la determinazione della resistenza di picco, la stessa può essere eseguita su provini ricostituiti in modo tale da riprodurre lo stato tensionale o di addensamento esistente in sito concordando la procedura con l'ente.

I risultati della prova di taglio (picco e residua) dovranno essere consegnati sia in forma grafica che tabellare. Per la prova di taglio si dovrà pertanto produrre in formato editabile e non:

1. profondità, posizione e orientamento del provino all'interno del campione;
2. metodo di preparazione del provino (indisturbato, ricostituito);
3. modalità di prova (tipo di apparecchiatura, eventuale applicazione di più cicli di scorrimento) ;
4. dimensioni iniziali del provino;
5. contenuto d'acqua iniziale, peso di volume umido e secco;
6. indice dei vuoti e grado di saturazione iniziali;
7. tensione normale applicata, massima tensione tangenziale, e spostamento orizzontale corrispondente;
8. tensione tangenziale residua, numero di cicli di scorrimento, e corsa effettuata per ogni ciclo;
9. velocità di scorrimento applicata nella fase di rottura e metodo di determinazione;
10. curve di consolidazione (cedimenti in funzione della radice quadrata del tempo);
11. tensione tangenziale e variazioni di altezza di ciascun provino in funzione dello spostamento orizzontale per la determinazione della resistenza di picco e di quella residua (grafici e tabelle);
12. diagramma dei valori massimi della tensione tangenziale e anche dei valori residui, in funzione della tensione normale applicata, per tutti i provini;
13. parametri di resistenza in condizioni di picco e residue, in termini di angolo d'attrito e coesione.



*Commissario Straordinario di Governo*  
*art. 1, comma 154, L. 145/2018*

**RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI**

A.G.I. – Associazione Geotecnica Italiana (1977). *Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche*.

Albarello D. & Castellaro S. (2011). *Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola*. Ingegneria Sismica Anno XXVIII, 32-49.

ASTM - D1586 (1984) *Standard test method for penetrating test and split-barrel sampling of soil*.

International Standard - UNI EN ISO 22476-12:2009, “*Geotechnical investigation and testing - Field testing - Part 12: Mechanical cone penetration test (CPTM)*”.

International Standard - UNI EN ISO 22476-2:2005, “*Geotechnical investigation and testing - Field testing - Part 2: Dynamic probing*”.

ISSMFE Techn. Committee (1985-1988). *Standard Penetration Test (SPT): International Reference Test Procedure*. ISOPT-1, Orlando (USA).