

La progettazione della campagna geognostica per la caratterizzazione dei terreni e la definizione del modello geotecnico

Piero Focardi

Professore Ordinario di Geologia Applicata, Università di Firenze, piero.focardi@virgilio.it

Exploratory programs for soil properties investigation and geotechnical models determinations

ABSTRACT: The physical modelling of soil consists in the partition of the bulk of terrain influenced by the intervention (significant volume) in different horizons with homogeneous mechanical behaviour; then, for any of them, geotechnical parameters for structure-soil interaction analysis are attributed. The parameters choice and the horizons partition as well, depend on local geological conditions and design requirements. Some examples of soil modelling, considering geological conditions and design requirements, are presented. The quality of results is function of parameters accuracy, that is influenced strictly from the soil exploration methods. After a critical examination of the limits of different investigation employed methods, a standard in soil exploration planning is proposed.

Key terms: geotechnics, soil exploratory program, soil properties, geotechnical model

Termini chiave: geotecnica, indagine geognostica, parametri del terreno, modello geotecnico

Riassunto

La ricostruzione del modello fisico del terreno consiste nella suddivisione dell'ammasso di terreno interessato dall'intervento (volume significativo) in unità a comportamento meccanico omogeneo e nell'attribuzione ad ognuna di esse dei parametri geotecnici necessari per l'analisi delle interazioni tra l'opera di progetto e il terreno stesso. La scelta dei parametri e la stessa distinzione in unità dipendono dalle condizioni geologiche locali e dalla tipologia dell'intervento. Vengono fatti alcuni esempi di modellazione in relazione alle condizioni geologiche e al problema analizzato. La qualità del risultato dipende naturalmente dalla precisione dei parametri introdotti nella modellazione che a loro volta dipendono dai mezzi di indagine impiegati. Dopo un esame critico dei metodi utilizzati e delle relative limitazioni, viene proposto uno standard di programmazione delle indagini geotecniche.

Introduzione

Per la progettazione ed esecuzione di qualunque opera di ingegneria civile occorre conoscere le proprietà geotecniche del terreno al fine di poter determinare gli effetti dell'intervento sullo stato tensionale e di riflesso sulla funzionalità delle opere progettate.

Questi effetti vengono determinati attraverso una operazione di modellazione che consiste nel simulare il terreno con un mezzo ideale che segue determinate leggi della fisica. Il termine *modellazione geotecnica* in senso generale comprende la scelta di un modello di comportamento e di conseguenza i parametri fisici e

meccanici da inserire nelle espressioni analitiche relative all'adozione del modello stesso.

Lo stesso materiale può essere analizzato con modelli di comportamento diversi in relazione al problema specifico. Nel caso ad esempio di fondazioni la reazione del terreno viene comunemente analizzata col modello di Winkler, i cedimenti immediati attraverso formule basate sulla teoria dell'elasticità, i cedimenti nel tempo con espressioni basate sulla teoria di consolidazione di Terzaghi. Per ogni modello di calcolo adottato sono naturalmente richiesti parametri specifici che possono essere determinati con metodologie diverse e che possono variare anche sensibilmente sia in senso verticale che orizzontale per vari motivi di carattere geologico.

Nel presente lavoro l'attenzione è rivolta alla ricostruzione del modello geotecnico inteso come modello fisico, non trattando la parte relativa ai modelli di comportamento più propriamente legati alla parte di progettazione pur evidenziando che in alcuni casi i risultati della parameterizzazione fisica possono condizionare la scelta del modello di calcolo da adottare per la progettazione dell'opera.

La prima operazione da effettuare consiste nel definire il volume significativo del terreno corrispondente a quello che interagisce con l'opera. Entro questo volume dobbiamo ricercare i parametri fisico-meccanici di interesse. Difficilmente il terreno presenta caratteri di omogeneità e pertanto si rende necessario fare un'operazione di modellazione che consiste nel suddividere la massa di terreno in unità a comportamento omogeneo dando ad ognuna di essi i parametri geotecnici richiesti per analizzare

i fenomeni di interazione.

Il termine *unità geotecnica* si addice meglio al termine *strato* utilizzato nelle normative in quanto la unità può comprendere una serie di strati in senso geologico.

I parametri richiesti differiscono a seconda del problema; ad esempio in caso di normali fondazioni la indagine sarà finalizzata a verificare le proprietà fisiche del terreno di appoggio e a ricercare i parametri relativi alla resistenza ultima e alla comprimibilità, nel caso di dighe o discariche sarà essenziale conoscere anche i caratteri di permeabilità, nel caso di frane in atto i parametri di resistenza residua.

In alcuni casi di dovrà ricorrere anche a più modelli geotecnici.

Esempio di modello geotecnico

La ricostruzione del modello geotecnico si basa preliminarmente su un esame stratigrafico del terreno con l'ausilio di informazioni sulla consistenza. In questo senso possono essere di valido aiuto anche prove semplici speditive quali quelle col penetrometro e vane test tascabili eseguite direttamente in cantiere durante le operazioni di carotaggio.

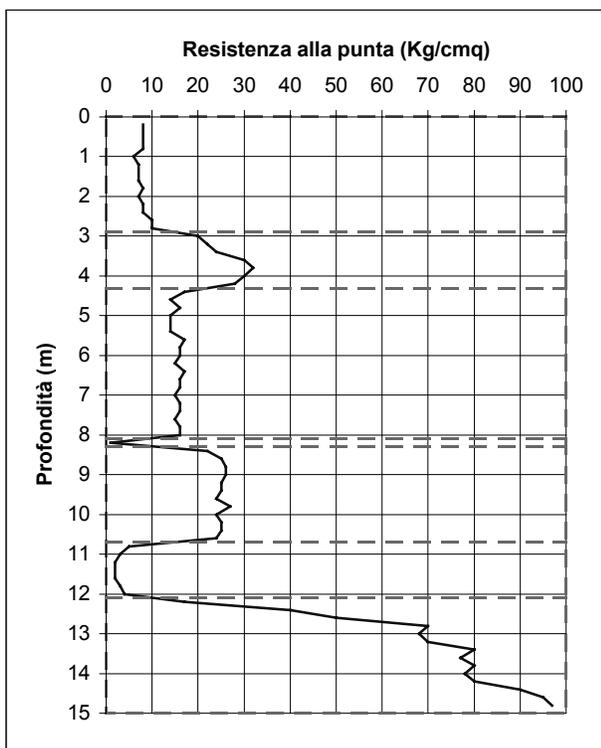


Figura 1 - Prova penetrometrica CPT - Resistenza alla punta.
Penetrometer test CPT - Point resistance.

Prove in sito continue quali ad esempio le prove penetrometriche statiche con misure alla resistenza alla punta e di attrito laterale locale forniscono informazioni qualitative sulla granulometria del terreno e sulla

consistenza dello stesso consentendo attraverso i profili di resistenza la separazione del terreno in unità geotecniche.

Consideriamo a titolo di esempio un terreno costituito da una serie di limi argillosi e sabbiosi per uno spessore complessivo di 12,5 metri soprastante uno strato di sabbia, come indicato nella tabella seguente.

La consistenza del terreno è illustrata nella Figura 1 attraverso misure di resistenza alla punta ottenuta da penetrometro statico CPT.

I dati stratigrafici unitamente ai dati di resistenza penetrometrica consentono di distinguere il terreno secondo le unità indicate in Tabella 1.

Tabella 1

A	Dal p. c. a 2,90	Limo argilloso, $q_c = 8$
B	da 2,90 a 4,30	Limo sabbioso, $q_c = 27$
C	da 4,30 a 8,10	Limo argilloso deb. sabbioso, $q_c = 16$
D	da 8,10 a 8,30	Argilla organica, $q_c = 1$
E	da 8,30 a 10,70	Limo argilloso sabbioso, $q_c = 25$
F	da 10,70 a 12,10	Argilla deb. Limosa, $q_c = 3$
G	oltre 12,50	Sabbia, $q_c \geq 50$

L'esempio consente di fare alcune considerazioni sulla modellazione geotecnica anticipando alcuni punti che verranno di seguito ripresi relativi alla modellazione.

Nel caso di fondazione poco profonda e con carichi modesti tali da trascurarne gli effetti al di sotto di 7 metri di profondità, la resistenza ultima del terreno sarà condizionata dalla resistenza al taglio della unità A e i cedimenti dalla comprimibilità delle unità A, B e C. In questo caso non interessa la modellazione geotecnica degli strati più profondi.

Nel caso invece di ampie fondazioni l'indagine e la conseguente ricostruzione del modello dovrebbe estendersi fino alla unità F, potendo trascurare gli effetti della comprimibilità delle sabbie situate in profondità (unità G).

Nel caso invece di fondazioni su pali incastrati nella unità G la parametrizzazione dovrebbe estendersi dalla unità A, fino alla F per calcolare la resistenza per attrito e alla unità G per quanto riguarda la resistenza alla punta.

Gli effetti dello strato di argilla organica di debole resistenza (unità D) potrebbero essere trascurati in considerazione del piccolo spessore per le verifiche della portanza delle fondazioni, ma diventerebbero essenziali per una verifica di stabilità globale nel caso di interventi su pendio. Ovviamente in questo caso l'indagine dovrebbe estendersi anche al di fuori della pianta dell'opera per indagare sulla continuità di detto livello.

Gli effetti e di conseguenza la parametrizzazione di piccoli livelli sabbiosi che fossero intercalati nella serie

limosa argillosa potrebbero essere trascurati operando in favore della sicurezza per la modellazione ai fini della progettazione di fondazioni mentre al contrario dovrebbero essere valutati nel caso di problemi di filtrazioni o per calcoli del decorso dei cedimenti.

Nel caso di fitte alternanze di materiali con caratteristiche diverse, l'adozione di un'unica unità e la scelta relativa dei parametri in relazione al problema (valore minimo, medio, o altro criterio) dovrebbe comunque essere motivata.

Quadro normativo

Normative nazionali

La progettazione, la esecuzione e il collaudo delle costruzioni sono disciplinate dalle *Norme tecniche per le costruzioni* emanate dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.

Le Norme analizzano tutti gli aspetti che concorrono alla realizzazione delle opere e in particolare nel capitolo 7 vengono trattati gli argomenti relativi alla interazione delle opere con il terreno, facendo riferimento alla caratterizzazione e modellazione geotecnica e agli aspetti geotecnici costruttivi e di controllo.

La progettazione delle opere deve tener conto degli stati limite ultimi (SLU), corrispondente al raggiungimento della massima capacità di resistenza dei terreni e degli stati limite di esercizio (SLE) corrispondenti a deformazioni e distorsioni che possono limitare l'uso e l'efficienza dell'opera.

Le norme differenziano i gradi di sicurezza nei confronti degli SLU in relazione alle classi di importanza, suddividendo le costruzioni in due classi.

Nella classe 1 sono inserite le opere di tipo comune con vita utile di 50 anni

Nella classe 2 sono invece inserite le opere con vita utile di 100 anni con affollamenti significativi, attività pericolose per l'ambiente, opere importanti o strategiche.

Le verifiche di sicurezza degli stati limite sono condotte verificando che i valori di progetto dovute all'effetto delle azioni siano minori o uguali dei valori degli effetti delle azioni stabilizzanti e/o resistenti.

Nel dimensionamento delle opere di fondazione e nelle verifiche di resistenza del terreno le azioni sono quelle trasmesse dalle opere, affette da *coefficienti amplificativi* mentre i parametri geotecnici caratteristici (angolo di attrito, coesione, ecc.) sono trasformati in valore di calcolo mediante *coefficienti parziali riduttivi*.

I coefficienti parziali riduttivi da applicare ai vari parametri geotecnici e i coefficienti amplificativi da applicare alle forze agenti sono riportati in distinte tabelle.

I parametri geotecnici da adottare nelle verifiche sono ottenuti applicando i coefficienti riduttivi ai parametri caratteristici del modello geotecnico.

Le Norme tecniche non definiscono i criteri da adottare per la individuazione dei valori dei parametri caratteristici

limitandosi a specificare che essi devono essere desunti da prove eseguite in laboratori autorizzati su campioni rappresentativi di terreno e/o attraverso la elaborazione dei risultati di prove e misure in sito.

Nei terreni a grana fine le verifiche devono essere effettuate in termini di pressioni totali ed efficaci.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto le norme tecniche introducono un criterio di classificazione del terreno di fondazione in base alle caratteristiche geotecniche medie del terreno per uno spessore di 30 metri, ottenute con misurazioni della velocità di propagazione delle onde secondarie o indirettamente dalla determinazione della resistenza SPT o della coesione in condizioni non drenate.

In relazione alla categoria di appartenenza vengono forniti dei coefficienti da introdurre nelle formule per la determinazione dello spettro di progetto.

Gli Eurocodici

La normativa europea (Eurocodice 7) fornisce dei criteri utili alla definizione dell'indagine tenendo in considerazione le caratteristiche generali dell'opera in progetto. A tale fine la norma europea definisce tre categorie di opere secondo criteri di complessità, dimensione e rischio potenziale indotto dall'intervento.

Le indagini geognostiche, pianificate in relazione alla classe di appartenenza, devono fornire i parametri geotecnici per verificare lo stato limite ultimo considerando tutti i meccanismi possibili di rottura del complesso terreno-opera di fondazione e lo stato limite di esercizio nelle condizioni limite di funzionalità dell'opera di progetto in relazione alle deformazioni e mantenimento della sua funzionalità

Circa la parametrizzazione geotecnica l'Eurocodice, come le Norme tecniche per le costruzioni, stabilisce che si debba assumere, per ogni unità individuata nel modello geotecnico un valore caratteristico ricavato da una stima qualitativa del valore ottenuto dal quadro complessivo dei dati disponibili.

Nella parte 3 dell'eurocodice 7 vengono date alcune prescrizioni in merito alla pianificazione delle indagini in sito. Vengono di seguito riportate le principali indicazioni che si riferiscono a normali edifici.

- L'estensione dell'indagine preliminare dei terreni deve contenere come minimo tre indagini verticali e comprendere sondaggi per prelievo di campioni e misure della falda freatica.
- Il numero dei punti di indagine deve essere ampliato in relazione alla complessità e variabilità del sottosuolo.
- Devono essere prelevati campioni da ogni singolo strato di terreno che influenza il comportamento della struttura.
- In caso di strati non omogenei o di terreni organici devono essere presi campioni ogni metro di prospezione.
- All'interno di strati distinti le proprietà di resistenza e deformazione non devono essere troppo diverse.

L'argomento relativo alla variabilità delle proprietà nell'interno della stessa unità è trattato in modo specifico nella parte 2 dell'Eurocodice 7, nella quale si fa riferimento al fatto che l'indagine può essere più o meno approfondita in relazione al grado di conoscenza del terreno.

Per esperienze medie vengono proposte per ogni strato almeno 3 prove di classificazione e di determinazione degli indici (granulometria, limiti di consistenza, umidità, peso di volume) e almeno 2 prove per la determinazione dei parametri di resistenza e comprimibilità del terreno.

Criteri generali di indagine

L'indagine dipende in vario modo dall'intervento, dall'importanza dell'opera e dalle caratteristiche dell'ambiente nel quale si realizza.

Il programma dell'indagine geotecnica deve tener conto dei seguenti aspetti:

- Volume di terreno interessato dalla indagine (dipende essenzialmente dal progetto).
- Numero di punti di indagine (fortemente condizionati dalla natura ed omogeneità del terreno).
- Mezzi di indagine (dipendono dai parametri e dalla precisione richiesti).
- Strumentazione di controllo (condizionata dalla geologia e dalla complessità dell'opera).

Il volume significativo

Il volume significativo da indagare è costituito dalla massa

di terreno entro il quale si risentono gli effetti dell'intervento. Essi possono essere:

- 1- modifiche dello stato tensionale per aumenti di pressione (es. fondazioni) o scarichi tensionali (scavi);
- 2- variazioni nel regime delle acque sotterranee per drenaggi o impermeabilizzazioni indotti dalle opere;
- 3- inquinamento diretto o indotto dagli interventi
- 4- modifiche delle condizioni di stabilità dei versanti per variazioni piano altimetriche o modifiche del regime delle acque

5-modifiche ambientali per apertura di cave di prestito o accumuli di materiali provenienti da scavi.

Una rappresentazione indicativa dei volumi interessati da normali opere è indicata nelle raccomandazioni edite dall'Associazione Geotecnica Italiana (A.G.I., 1977).

In dette raccomandazioni si suggerisce di investigare il terreno con almeno 3 verticali 1 verticale ogni 600 mq oltre le prime tre per normali edifici e 1 verticale ogni 50-100 m per opere sviluppate in lunghezza (muri, argini).

Nel caso di studi per fondazioni, di regola si trascurano gli effetti del terreno situato a profondità maggiore di quella per la quale gli incrementi di carico sono inferiori a 1/10, 1/15 della pressione litostatica efficace.

La parametrizzazione geotecnica

Di seguito sono indicati i principali parametri richiesti per la caratterizzazione geotecnica indicando per ognuno di essi le relative finalità.

Tabella 2

Stratigrafia del terreno	Ricostruzione del modello distinto in unità con comportamento geotecnico omogeneo
Proprietà indice (peso di volume, granulometria, limiti di consistenza, umidità, indice dei vuoti, ecc)	Ricostruzione del modello di cui sopra; attitudine a rigonfiamento e ritiro; valutazione di alcune proprietà del terreno. attraverso formule empiriche
Falda freatica	Stato tensionale in termini di pressioni efficaci
Storia tensionale	Deformabilità e resistenza del materiale. Stato tensionale a deformazioni orizzontali nulle
Parametri di resistenza al taglio nelle varie condizioni	Resistenza al taglio in termini di pressioni totali ed efficaci
Parametri di resistenza al taglio residua	Resistenza al taglio dopo la rottura e a seguito di ampie deformazioni
Modulo di elasticità	Cedimenti immediati
Modulo, coefficiente di compressibilità edometrica, coefficiente di consolidazione	Cedimenti per consolidazione, decorso dei cedimenti nel tempo
Coefficiente di permeabilità	Problemi di filtrazione
Coefficiente di reazione	Dimensionamento strutturale delle fondazioni
Densità relativa	Proprietà dei terreni incoerenti; liquefacibilità delle sabbie
Coefficiente sismico	Progettazione opere in aree sismiche

La distinzione del terreno in unità viene effettuata attraverso esami stratigrafici del terreno correlati con prove di classificazione e determinazione dei principali indici. Diagrammi di resistenza quali profili penetrometrici e dilatometrici, correlati a stratigrafie consentono di interpolare le informazioni ottenute dai sondaggi e ricostruire con maggiore dettaglio spaziale il modello geotecnico. I parametri geotecnici possono essere ricavati sperimentalmente, perlopiù attraverso prove di laboratorio, o determinati attraverso calcoli analitici o formule empiriche

Valori caratteristici

Nelle norme tecniche e nell' Eurocodice 7 viene trattato l'argomento della interazione opera terreno distinguendo il terreno in unità (o strati secondo la terminologia usata dalle norme tecniche per le costruzioni e dagli Eurocodici) a comportamento omogeneo e alle quali vengono attribuiti per ogni parametro richiesto un *valore caratteristico* in relazione ai risultati ottenuti da prove di laboratorio e/o prove in situ, senza specificare criteri e modalità da adottare per la individuazione sia delle unità che dei valori caratteristici.

L'unità (ovvero lo spessore di terreno al quale viene attribuito lo stesso parametro geotecnico) non sarà mai perfettamente omogenea perché di fatto è costituita da più strati in senso geologico ognuno dei quali è conseguente ad un evento con caratteristiche proprie. Anche per intervalli piccoli quali 50 centimetri che corrispondono all'altezza di un campione prelevato da un sondaggio si rilevano sempre differenze anche nei casi più omogenei. Questo motivo induce a riflettere sulla opportunità che siano fissati criteri nella distinzione del terreno in unità, imponendo che entro la stessa unità i valori dei parametri geotecnici richiesti varino entro un range prestabilito. Il modello adottato sarà tanto più vicino alle condizioni reali quanto più piccolo sarà il range adottato per la costruzione del modello.

I parametri geotecnici possono essere ricavati da prove sperimentali quali ad esempio coesione e angolo di attrito interno da prove triassiali o prove di taglio dirette oppure indirettamente attraverso relazioni empiriche quali ad esempio quelle che legano l'angolo di attrito critico con l'indice di plasticità. In questo caso i valori, *cosiddetti derivati*, sono soggetti ad un certo grado di imprecisione in quanto ottenuti da espressioni analitiche che rappresentano gli andamenti medi di sperimentazioni a carattere spesso locale.

Prendiamo ad esempio la relazione tra indice di plasticità e ϕ' , riportata in molti testi di geotecnica. La retta di regressione rappresenta il valore medio ottenuta da dati sperimentali che oscillano entro una fascia con dispersione di +26% e -26%.

Altro esempio: riguarda la formula frequentemente adottata per ottenere la coesione in condizioni non drenate

c_u dalla resistenza alla punta ottenuta da prove penetrometriche statiche q_c :

$$c_u = \frac{q_c - \sigma_{v0}}{N_c} \text{ dove}$$

σ_{v0} è la pressione litostatica alla profondità di prova e N_c è un fattore di capacità portante che dipende dalla profondità relativa e dall'angolo di apertura del penetrometro. Da dati sperimentali N_c può variare da 5 a 21. Pertanto l'adozione del valore intermedio 15 può fare incorrere in una sottostima o sovrastima del reale valore della coesione.

Errori di gran lunga maggiori si hanno quando si adottano relazioni empiriche che legano parametri ottenuti da prove non drenate quale ad esempio la resistenza penetrometrica CPT con valori di resistenza in termini di pressioni efficaci o di comprimibilità per effetti di consolidazione in terreni a grana fine.

L'adozione di valori derivati, senza controlli con prove dirette, impone di cautelarsi tenendo conto della dispersione dei valori sperimentali sui quali è basata la formula adottata; altrimenti vi è il rischio di rendere aleatori i coefficienti di sicurezza adottati nelle verifiche.

Indagine sulle prove di laboratorio

Per verificare i criteri più frequentemente usati per la modellazione geotecnica attraverso prove di laboratorio è stata fatta una indagine presso un laboratorio geotecnico analizzando le prove eseguite in un prestabilito lasso di tempo e relative alla progettazione di fondazioni di normali edifici ricadenti nella classe 1 delle Norme tecniche. I dati analizzati comprendono 260 commissioni con prove su 662 campioni prelevati da vari sondaggi.

I risultati della indagine sono mostrati in forma sintetica nella Figura 2, fornendo le seguenti informazioni:

- Percentuali di commesse con analisi su 1, 2, ecc campioni analizzati.
- Percentuali delle profondità di prelievo dei campioni analizzati, relative a tutti i campioni.
- Percentuali di tipo di prove eseguite, su tutti i campioni analizzati.

L'indagine evidenzia una estrema carenza di dati per quanto riguarda la modellazione. Solo il 20% ha eseguito prove su 4 o più campioni; il 43% su 2 o più campioni mentre il 32% ha caratterizzato il terreno con un unico campione.

Anche le profondità presentano delle carenze. Infatti nel 53% dei casi le analisi sono state effettuate su campioni prelevate solo nei primi 4 metri di profondità dal piano campagna.

Le analisi di classificazione (granulometrie e limiti di consistenza) indispensabili per una valida ricostruzione del modello geotecnico non sono state eseguite su tutti i

campioni come sarebbe stato da aspettarsi ma solo sul 55 % dei campioni analizzati.

Tutte le prove di comprimibilità e di resistenza sono estremamente carenti per numero. Praticamente assenti le

prove triassiali che come è noto consentono di ottenere risultati di maggiore qualità rispetto a prove di taglio diretto o prove di compressione semplice.

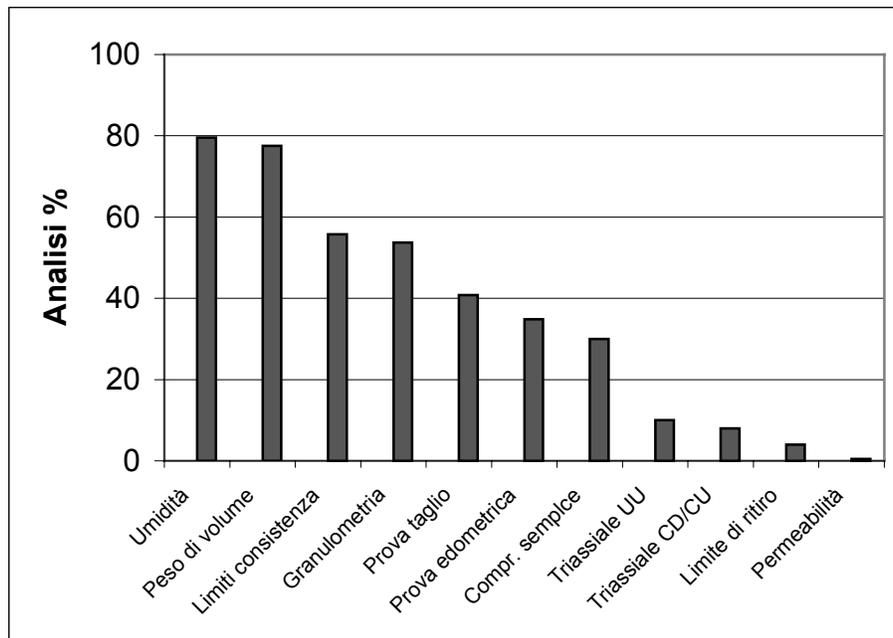
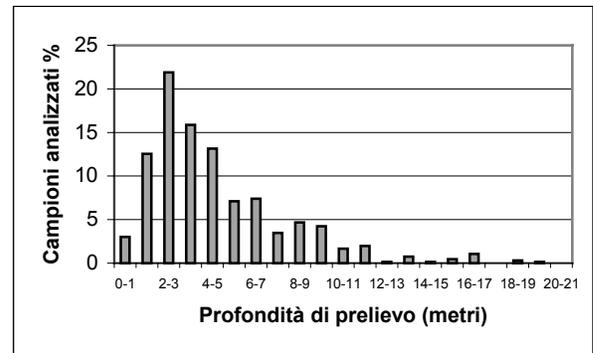
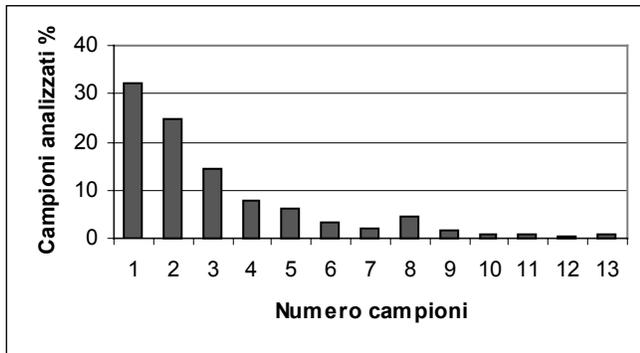


Figura 2 - Risultati di una indagine sul numero di prove commissionate a laboratorio geotecnico.
Results of a research on the number of tests in soil laboratory.

Standard per indagini geotecniche

Sulla base di raccomandazioni e norme vigenti vengono riportati i principali criteri da adottare per la esecuzione di indagini geotecniche per la progettazione di normali opere di ingegneria.

1. L'indagine deve coprire il volume significativo; la natura del terreno e le proprietà devono essere appurate mediante indagini che comprendano sondaggi o saggi.

2. Per ogni 3 profili di resistenza ottenuti da prove continue in sito (prove penetrometriche, dilatometriche, pressiometriche) deve essere previsto almeno 1 sondaggio geognostico per rilievi stratigrafici e prelievo di campioni indisturbati.

3. Nel corso dei sondaggi devono essere effettuate misure freatiche; i campioni indisturbati da sottoporre ad analisi di laboratorio devono essere prelevati ad ogni variazione significativa del terreno per natura, granulometria, e consistenza. Devono essere comunque prelevati campioni ogni 2 m di prospezione per tutta la profondità di indagine. Nel caso di fondazioni superficiali si dovrà effettuare un campionamento immediatamente al di sotto della presunta quota di appoggio dell'opera. Nel caso di locali interrati si dovrà campionare il terreno anche al di sopra della quota delle fondazioni per la parametrizzazione necessaria alle valutazioni sulla stabilità dei fronti di scavo

e l'eventuale calcolo della spinta sulle opere di contenimento.

4. Per interventi sviluppati in lunghezza deve essere programmata almeno 1 verticale ogni 50-100 m

5. Per edifici normali almeno 1 sondaggio per dimensioni planimetriche inferiori a 500 mq, 3 verticali per dimensioni superiori a 500 mq fino a 1000 mq ; per dimensioni più ampie 1 verticale per maglie con distanza massima di 40 m da ridursi in caso di non omogeneità del terreno messe in evidenza dalle sezioni geologiche, ricordando la proporzione minima di 1/3 tra sondaggi e proiezioni continue di tipo diverso.

6. Tutti i campioni prelevati devono essere esaminati e sottoposti a prove di classificazione e di determinazione degli indici in modo da poter controllare le stratigrafie ricostruite in campagna e distinguere il materiale in unità geotecniche omogenee con differenze nei parametri inferiori al 10% rispetto al valore medio.

7. Per ogni unità geotecnica individuata devono essere determinati i parametri geotecnici richiesti (comprimibilità, resistenza a breve e lungo termine, ecc) su un numero di campioni da stabilire in relazione alla complessità dell'intervento e della omogeneità dei risultati e comunque non inferiore a 2 campioni per unità.

L'indagine geognostica deve essere ovviamente più accurata e complessa sia per opere più importanti che per terreni complessi e con proprietà scadenti. Un tentativo di codificare le indagini nelle varie condizioni è riportato nel lavoro di Focardi P. (2004) nel quale vengono considerate 3 tipologie di opere (modeste, medie e complesse) e 3 tipologie di terreni anch'essi distinti a seconda di proprietà elevate, medie e scadenti,

Conclusioni

L'indagine nel laboratorio geotecnico ha evidenziato che il numero di campioni analizzati e le analisi richieste sono in molti casi inadeguate per una corretta parametrizzazione geotecnica.

Il criterio adottato dalle Norme tecniche di recente emissione, consistente nel confronto delle sollecitazioni indotte dall'opera con la resistenza del terreno ottenuta dai parametri geotecnici ridotti attraverso i coefficienti parziali, determina di fatto una sensibile riduzione dei coefficienti di sicurezza rispetto a quelli calcolati con i criteri fino ad oggi adottati.

Diventa quindi essenziale che i cosiddetti parametri caratteristici non siano virtuali ma corrispondano a quelli reali e che la loro determinazione avvenga con criteri oggettivi.

Quando i parametri non sono misurati ma derivati con formule empiriche, essi non possono essere direttamente adottati come parametri caratteristici, ma devono essere corretti tenendo conto del range degli errori sperimentali.

Qualunque sia il criterio adottato, l'attendibilità dei parametri dipende dal numero di prove eseguite sui campioni della stessa unità e pertanto il passaggio dai dati sperimentali a quelli caratteristici dovrebbe avvenire sulla base del numero di informazioni disponibili, con criterio simile a quello riportato nelle norme tecniche per la resistenza dei pali, basata appunto sul numero di prove eseguite.

Questo procedimento orienterebbe automaticamente gli Operatori a incrementare l'indagine per le opere più impegnative e di far lavorare il terreno nelle condizioni ottimali (adeguato grado di sicurezza nelle reali condizioni di carico) che è poi lo spirito degli *Eurocodici* e delle nuove *Norme tecniche per le costruzioni*.

Bibliografia

ASSOCIAZIONE GEOTECNICA ITALIANA, 1977. Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche. A.G.I. 1977.

Focardi P., 2004. La programmazione dell'indagine geognostica in relazione al problema di ingegneria civile e alla natura del terreno. A.L.G.I. Seminario sulla

caratterizzazione geotecnica dei terreni, Firenze 12-13/2/04, in stampa.