

Geologia e Ingegneria geotecnica alla luce delle nuove normative



Le indagini geologiche e geotecniche da condurre in accordo con le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni in vigore dal 1 gennaio 2008

FABIO GARBIN
SIGEA

FRANCO ORI
CGG SRL

MAURIZIO SCARAPAZZI
GEOPANNING SERVIZI PER
IL TERRITORIO SRL

BIAGIO TRANQUILLO
CGG SRL

Le novità introdotte dal D.M. 14.09.2005 "Norme Tecniche per le Costruzioni" coinvolgono in modo sicuramente più impegnativo le varie realtà professionali che lavorano nel settore della geologia e dell'ingegneria civile.

La nuova normativa entrerà definitivamente in vigore dal 1 gennaio 2008 e sostituirà integralmente il D.M. 11.03.1988, ed integrerà con variazioni importanti l'O.P.C.M. 3274 del 20.03.2003. In sostanza il nuovo documento costituisce il D.A.M. (Documento di Attuazione Nazionale) con cui l'Italia recepisce ed applica quanto dettato a livello generale dagli Eurocodici 7 ed 8.

Un'importantissima novità è l'introduzione obbligatoria del Modello Geologico, della pericolosità e vulnerabilità del sito, oltre che della caratterizzazione e modellazione geotecnica. E' questa una fondamentale conquista culturale, anche in considerazione che finora è stato piuttosto frequente il caso in cui, ad opera iniziata, si doveva ricorrere a modifiche sostanziali al progetto a causa di un modello geologico insufficiente.

La formulazione del modello geologico è compito del geologo il quale, sulla base delle più recenti disposizioni normative, partecipa anche alla definizione del Modello Geotecnico.

La nuova normativa modifica gli approcci progettuali finora utilizzati sostituendo il metodo del carico ammissibile con quello dell'equilibrio limite, ovvero il coefficiente unico complessivo è sostituito da coefficienti parziali applicati specificatamente ai singoli parametri: peso di volume, angolo di attrito e coesione. Il differente approccio risulta aspetto di non poco conto nella fase di progettazione geotecnica in quanto amplifica l'importanza del valore del singolo parametro, potendo condurre ad errori sostanziali nella verifica analitica finale, come ad esempio nel calcolo della capacità portante, della spinta delle terre, della stabilità di pendii e dei fronti di scavo, ecc.

Si vuole sottolineare inoltre la difficoltà culturale a cui saranno soggetti i tecnici abituati alla semplice applicazione del coefficiente di sicurezza globale (definito dal D.M. dell'11.03.1988) pari a 2.5 - 3 nel ca-

so delle fondazioni, il quale nella stragrande maggioranza dei casi riusciva a coprire, con largo margine, l'imprecisione dei valori dei parametri e dei conseguenti modelli geotecnici applicati. La nuova normativa introduce coefficienti di sicurezza parziali, compresi tra 1 e 1.5: ne deriva una concreta possibilità di errore di progettazione qualora non si conosca, con elevata precisione, il dato geotecnico rappresentativo del livello geomeccanico in esame.

Si riporta come esempio il caso reale di calcolo della capacità portante di una fondazione superficiale su terreno sabbioso caratterizzato unicamente con S.P.T. In questa situazione poiché la resistenza è principalmente opposta dall'angolo di attrito e i fattori di capacità portante sono in relazione esponenziale a tale parametro, è evidente che un piccolo errore nella determinazione di questo parametro si ripercuote pesantemente sul calcolo finale: nel caso studiato una incertezza di $\pm 3^\circ$ rispetto al valore medio si traduce in una resistenza variabile del 100% e che ovviamente non sarebbe tollerabile dai nuovi coefficienti parziali.

Il nuovo approccio merita un accurato approfondimento perché i problemi, ed i possibili rischi professionali, a cui si va incontro nella progettazione geotecnica sono maggiori di quelli inerenti i conflitti di competen-



za della progettazione stessa. A prescindere da qualsiasi disposizione, normativa o giuridica, la strada da perseguire deve essere il buon senso, basato su una sinergia completa tra le 3 "figure geotecniche": il geologo, l'ingegnere progettista ed il laboratorio geotecnico.

- Il geologo ha la funzione principale di programmare, coordinare ed eseguire l'indagine geognostica (perforazioni, campionamenti e prove in sito) in modo da definire un valido modello geologico e idrogeologico. Inoltre, nei casi di studi preliminari del sito, stabilità dei versanti ed analisi del potenziale di liquefazione, il geologo ha il compito della definizione del profilo geotecnico (indagine in sito ed in laboratorio eseguita unicamente sulla situazione tensionale ante-operam).
- Il progettista ha il compito di definire le modifiche tensionali, rispetto alla situazione geostatica preesistente, indotte dall'opera in progetto, anche in relazione alle singole

fasi esecutive (breve termine e lungo termine). Il progettista deve inoltre ipotizzare preliminarmente più di una soluzione tecnica e dovrà, possibilmente sulla base dello studio preliminare sopramenzionato, progettare la campagna geognostica definitiva: un'ottima sinergia tra progettista e geologo è fondamentale nei casi in cui si disponga di un'unica indagine geognostica, o meglio: è impensabile che venga eseguito lo studio geognostico definitivo senza la necessaria sinergia tra geologo e progettista.

- Il laboratorio geotecnico oggetto di Concessione da parte del Ministero delle Infrastrutture è la struttura in grado di emettere Certificati Ufficiali relativi a prove su terreni e rocce. E' di fatto il terzo soggetto ed ha il compito di coniugare le evidenze presenti in sito con le indicazioni progettuali, al fine di fornire i parametri geotecnici richiesti nei diversi percorsi tensionali; il laboratorio ha inoltre la responsabilità di fornir

re informazioni oggettive sul grado di disturbo dei campioni analizzati, in modo che in fase progettuale si possa assegnare un differente "peso" ai risultati ottenuti.

Affianco alle suddette competenze specifiche delle 3 figure sopramenzionate si intende che un modello geotecnico ottimale derivi proprio da una concertazione conclusiva tra le figure sopra menzionate, e si concretizzi in un lavoro a responsabilità congiunta del progettista e del geologo.

In questa sede si è deciso di non entrare nell'importanza della qualità delle indagini da eseguire in sito ed in laboratorio perché ciò è stato già oggetto della Circolare 349/STC del 16.12.1999, recepita appunto dalle Norme tecniche (punto 7.2.2), secondo la quale "le indagini e le prove devono essere eseguite e certificate dai laboratori di cui all'art. 59 del D.P.R. 6.6.2001 n. 380. I laboratori su indicati faranno parte dell'elenco depositato presso il Servizio tecnico centrale del Ministero delle Infrastrutture e

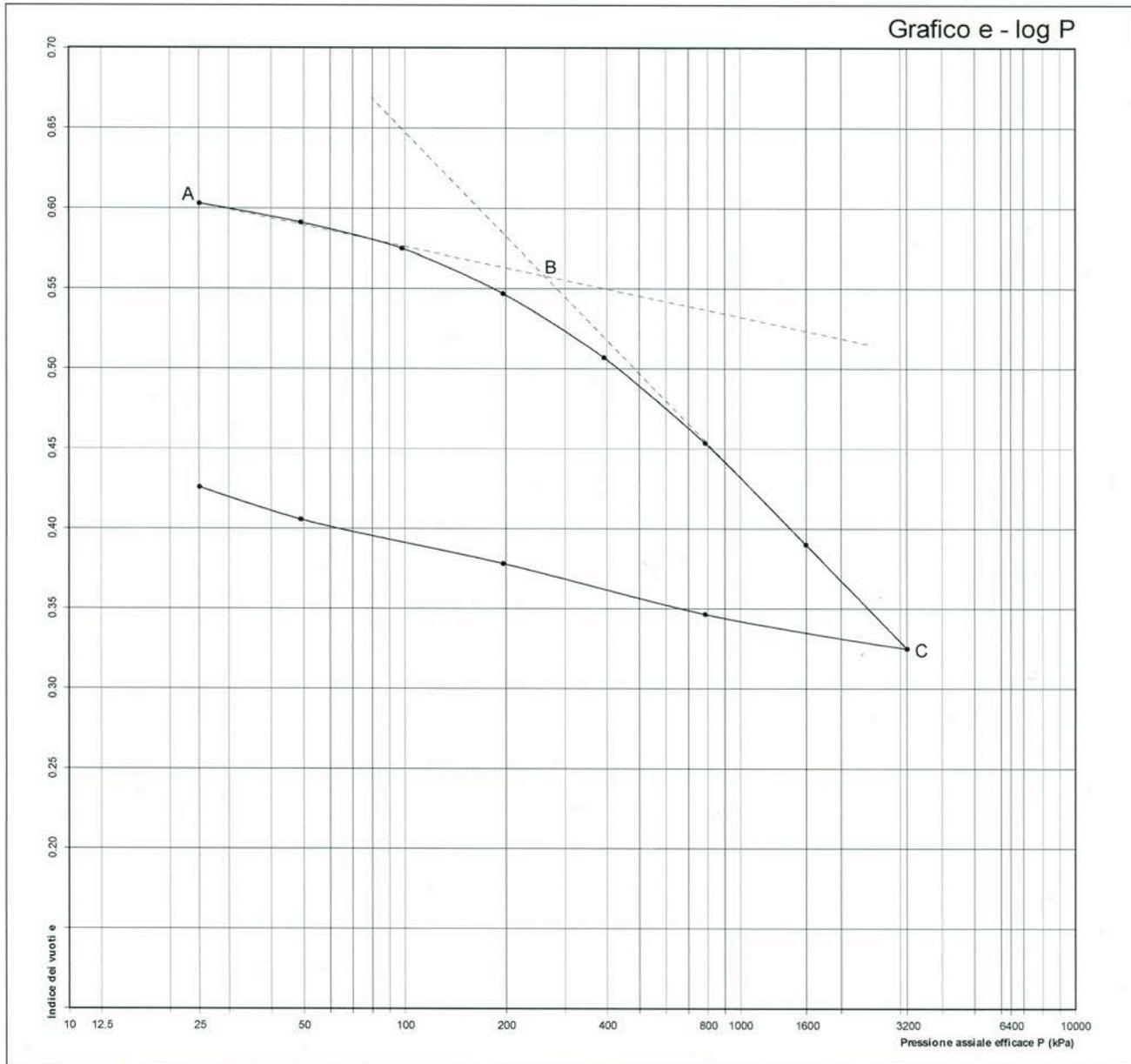


Figura 1 - curva edometrica

dei (aggiornato e consultabile su <http://www.infrastrutturetrasporti.it/consumpl/> e quindi: laboratori di prova e concessionari prove geotecniche)".

Le Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni prevedono che "il modello geologico del sito deve essere orientato alla ricostruzione dei caratteri stratigrafici, litologici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio". E' pertanto indispensabile sin dall'inizio pianificare una campagna di indagini volta ad ottenere le informazioni relative a tutti i punti elencati e prevedere che la campagna di indagini geologiche e geotecniche venga pianificata anche sulla base della conoscenza delle caratteristiche principali dell'opera in progetto. E' vero che le Nuove Norme Tecniche delle Costruzioni al paragrafo 7.2.2 recitano "I parametri fisici e meccanici da attribuire ai terreni, espressi questi ultimi attraverso valori caratteristici, debbono essere desunti da specifiche prove eseguite in laboratorio su campioni rappresentativi del terreno e/o attraverso l'elaborazione dei risultati di prove e misure in sito", ma l'utilizzo delle prove in sito (prove penetrometriche statiche e dinamiche, prove dilatometriche e pressiometriche, ecc.) non può essere generalizzato e sostituire in toto i sondaggi geognostici con prelievo di campioni indisturbati e successive prove di laboratorio.

Le prove in sito, o almeno la maggior parte di esse, sono in grado di fornire con una discreta approssimazione solamente i parametri in termini di tensioni totali, mentre in diversi casi è necessario conoscere il comportamento del terreno in termini di tensioni efficaci.

Premesso che per ogni campione sarebbe opportuno procedere almeno all'esecuzione delle principali prove di caratterizzazione (peso di volume, contenuto in acqua, peso specifico dei granuli, composizione granulometrica, limiti di Atterberg), nel seguito si prendono in considerazione le prove da prevedere in laboratorio per fornire al Progettista i parametri del terreno necessari alla soluzione di alcuni dei principali problemi connessi alla progettazione geotecnica.

FONDAZIONI

Le problematiche poste dalla progettazione delle fondazioni su terreni sciolti riguardano l'aspetto della capacità portante limite del terreno e, soprattutto per le fondazioni superficiali, la valutazione dei cedimenti.

VALUTAZIONE DELLA CAPACITÀ PORTANTE

La valutazione della capacità por-

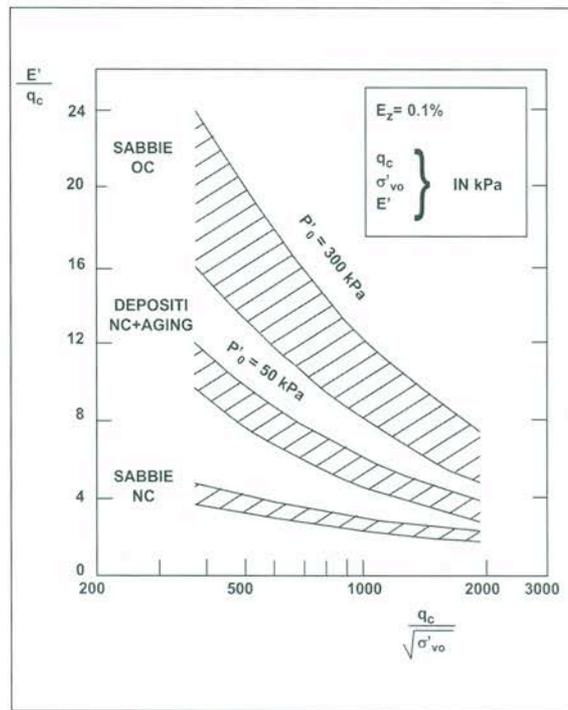


Figura 2 - modulo di deformazione delle sabbie ricavato da un'analisi retrospettiva di casi reali

tante ultima richiede la determinazione dei parametri di resistenza del terreno; per i terreni coesivi a grana fine in genere tale valutazione viene eseguita con riferimento alle condizioni non drenate ($C_u = 0$ e $\sigma'_v = 0$). Le prove di laboratorio per la determinazione della resistenza al taglio in tali condizioni consistono in prove triassiali non consolidate e non drenate (UU) o in alternativa, ma solo quando lo consigliasse la pratica di laboratorio, da prove di compressione semplice non confinata (ELL). Nel caso di campioni contrassegnati da macrostruttura o interessati da fessurazioni, i campioni dovranno avere dimensioni tali da consentire di indagare gli effetti di tali fessurazioni o della macrostruttura sulla resistenza al taglio.

Tra le prove in sito utilizzate per la determinazione della resistenza al taglio C_u la più utilizzata è sicuramente la prova penetrometrica statica CPT o CPTU; entrambe queste prove, soprattutto la seconda, forniscono un profilo di dettaglio del sottosuolo. La formula normalmente impiegata per la determinazione di C_u è la seguente:

$$C_u = (q_c - \sigma_{v0}) / N_c$$

A parte la difficoltà di determinare il valore di σ_{v0} , la variabilità piuttosto ampia consigliata dagli Autori per il valore di N_c (14 - 20) porta ad incertezze anche dell'ordine del 50% nella valutazione di C_u . E' pertanto consigliabile nell'ambito di un'indagine geotecnica associare alle prove penetrometriche l'esecuzione di qualche sondaggio con prelievo di campioni indisturbati su cui eseguire le prove sopra citate.

Solo in casi particolari, specialmente in presenza di materiali molto sovraconsolidati e/o fessurati, la resistenza al taglio viene valutata in

termini di tensioni efficaci preferibilmente mediante prove triassiali consolidate e drenate (CD).

Nel caso di materiali a grana grossa il parametro normalmente utilizzato è l'angolo di attrito interno che, a causa delle difficoltà che si incontrano nel prelievo di campioni indisturbati di tali materiali (soprattutto se privi di matrice fine e/o se sottofalda), viene determinato quasi esclusivamente attraverso correlazioni empiriche con prove in sito (CPT, SPT, prove pressiometriche, ecc.). In questo caso particolare, come detto, l'incertezza del dato ottenuto è spesso troppo elevata e pertanto si ritiene consigliabile tarare la correlazione empirica utilizzata (anche molto variabile da un autore all'altro) mediante prove di taglio in laboratorio; le prove devono essere eseguite con elevata perizia su campioni ricostruiti in laboratorio (mediante l'applicazione della tavola vibrante) alla densità relativa misurata in sito.

VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI

Per la valutazione dei cedimenti è di estrema importanza la valutazione del grado di sovraconsolidazione (OCR) e la determinazione dei parametri di compressibilità del terreno in esame. Per i terreni coesivi entrambi i problemi possono essere risolti ricorrendo all'esecuzione di prove edometriche su campioni indisturbati che devono essere di ottima qualità. Con riferimento alla curva edometrica della seguente figura 1 le caratteristiche di compressibilità sono in genere individuate dai seguenti parametri:

- Indice di ricompressione:

$$C_r = - \Delta e / \Delta \log \sigma'_v$$

valutato nel tratto di ricompressione AB.

- Indice di compressione:

$$C_c = - \Delta e / \Delta \log \sigma'_v$$

valutato nel tratto di compressione BC.



- Modulo edometrico:

$$E_{ed} = \Delta\sigma_v / \Delta\epsilon$$

calcolabile in qualsiasi intervallo di carico.

Anche in questo caso un notevole aiuto nella determinazione del grado di sovraconsolidazione OCR può derivare da un'attenta analisi di prove penetrometriche CPT o CPTU che possono mettere in evidenza variazioni anche minime di OCR con la profondità. Nel caso di terreni sabbiosi, a causa delle difficoltà nel prelievo di campioni indisturbati di tali materiali, i parametri di deformabilità vengono in genere ricavati da prove in sito quali ad esempio CPT, SPT, ecc. L'importanza della storia tensionale (OCR) anche per i depositi sabbiosi è evidenziata nelle seguenti figure 2 e 3 tratte da lavori di Berardi - Lancellotta del 1991.

Nonostante la indiscussa difficoltà di ottenere una stima precisa del grado di consolidazione dei depositi sabbiosi è da ritenere che una stima sufficientemente attendibile di tale parametro possa essere ottenuta attraverso correlazioni empiriche con prove in sito, soprattutto prove pressiometriche e prove dilatometriche.

STABILITÀ DI PENDII E DEI FRONTI DI SCAVO

Il gran numero di parametri indipendenti che sono necessari per definire la stabilità, o la pericolosità, di un pendio naturale o di un fronte di scavo, renderebbe estremamente costosa un'analisi completa del problema, per cui nella pratica ordinaria si ricorre a modelli semplificati.

Anche in questi casi per risolvere i problemi connessi con la stabilità dei pendii è in primo luogo necessario ottenere una conoscenza quanto più approfondita possibile delle caratteristiche geologiche del sito, intendendo con ciò le caratteristiche litologiche, stratigrafiche, strutturali, idrogeologiche e geomorfologiche della zona di indagine e delle zone limitrofe.

E' poi necessario conoscere i seguenti parametri geotecnici dei terreni che possono essere interessati da eventuali scorrimenti:

- Peso di volume: γ
- Parametri di resistenza: ϕ, c, c_u
- Pressione neutra: u

I parametri di resistenza ed il peso di volume devono essere ricavati da prove di laboratorio su campioni indisturbati, la pressione neutra deve essere ricavata dai dati rilevati in una rete di piezometri messi in opera nel versante oggetto di studio.

Da quanto premesso risulta quindi evidente che un'indagine per la verifica della stabilità di un pendio (o di un fronte di scavo) deve essere costituita sia da prove in sito (prove penetrometriche, indagini geofisiche,

ecc.), che da sondaggi geotecnici con prelievo ed analisi di campioni indisturbati e posa in opera di strumentazione geotecnica.

In generale per i pendii naturali le prove di laboratorio per la determinazione dei parametri di resistenza dovranno tendere alla determinazione dei parametri sia di picco che residui in condizioni di sforzi efficaci; per quanto riguarda i parametri di picco le prove più consigliabili sono sicuramente le triassiali consolidate e drenate (o in alternativa le triassiali consolidate non drenate con rilievo delle pressioni neutre), mentre i parametri residui andranno determinati con prove di taglio diretto in scatola di Casagrande con ripetuti cicli di taglio o, più opportunamente, con prove di taglio anulare, che è l'unica prova che individua il valore preciso di resistenza ultima del terreno.

Poiché nel caso dei pendii naturali la superficie di scorrimento, effettiva od ipotizzata, si trova in genere a modeste profondità rispetto al piano di campagna, lo sforzo normale su di essa è in genere modesto e la resistenza al taglio lungo tale superficie dipende soprattutto dal valore della coesione c' , parametro che notoriamente è influenzato dalle caratteristiche macrostrutturali del terreno, nonché dai fenomeni di alterazione e di rigonfiamento cui viene sottoposto il terreno.

L'effetto della macrostruttura può, almeno in parte, venire valutato utilizzando nelle prove di laboratorio campioni di maggiori dimensioni rispetto a quelli usuali o considerando

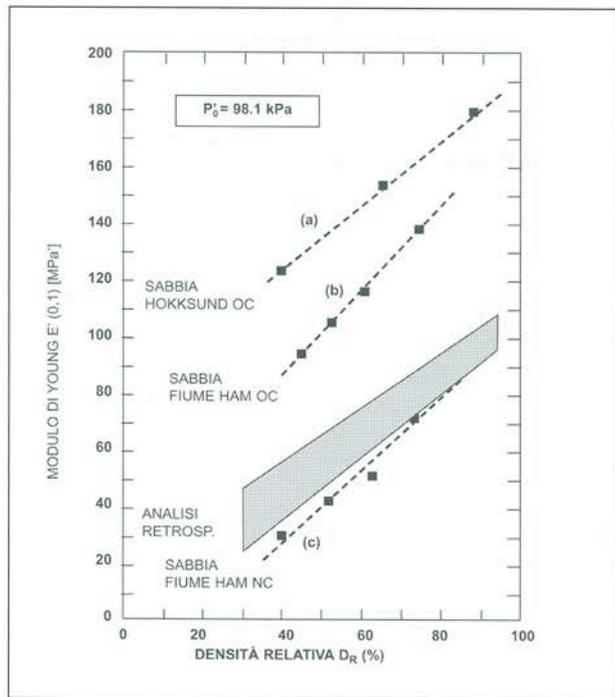


Figura 3 - correlazione tra modulo di deformazione e resistenza alla punta del penetrometro statico

nullo il valore della coesione c' lungo le superfici di discontinuità.

L'effetto del rigonfiamento conseguente a fenomeni di alterazione o a diminuzione di carico (come ad esempio nei fronti di scavo) potrebbe venire valutato eseguendo prove triassiali con 1 costante e 3 decrescente.

Per quanto riguarda la stabilità dei fronti di scavo, le verifiche andranno condotte sia a breve termine (in termini di tensioni totali), sia a lungo termine (in termini di tensioni efficaci), per cui si renderà necessaria anche la determinazione della coesione non drenata, preferibilmente mediante l'esecuzione di prove triassiali non consolidate e non drenate; anche in questo caso, nell'ipotesi che il fronte di scavo sia costituito da terreni sovraconsolidati e fessurati, è preferibile operare su campioni di maggiori dimensioni rispetto a quelli usuali (75 ÷ 100 mm contro i 38 mm usuali).

BIBLIOGRAFIA

- G. CALABRESI: (1987) SCELTA DEI PARAMETRI PER L'ANALISI DI STABILITÀ DI PENDII NATURALI E FRONTI DI SCAVO. ATTI DELLE CONFERENZE DI GEOTECNICA DI TORINO XIII CICLO
- R. LANCELOTTO: (1987) POTENZIALITÀ DELLE PROVE DI LABORATORIO. ATTI DELLE CONFERENZE DI GEOTECNICA DI TORINO XIII CICLO
- R. LANCELOTTO: (1987) GEOTECNICA. EDIZIONI ZANICHELLI
- G. PAZZAGLI: (2006) GEOLOGIA, GEOTECNICA ED INGEGNERIA: UNA RELAZIONE COMPLESSA- LE STRADE, N. 9
- A. PELLEGRINO: (1974) FINALITÀ E PROGRAMMAZIONE DELLE INDAGINI GEOTECNICHE. 5° CICLO ANNUALE DI CONFERENZE - POLITECNICO DI TORINO
- P. REGOGLIOSI, S. STORONI RIDOLFI: (2005) INTRODUZIONE ALLA GEOTECNICA: I MODELLI COSTITUTIVI DEI TERRENI - DARIO FLACCOVIO EDITORE
- G. SCARPELLI - U. HEGG - M. MANASSERO: (1999) IL RUOLO DELLE INDAGINI GEOTECNICHE NELLA PROGETTAZIONE. ATTI DEL XX CONVEGNO NAZIONALE DI GEOTECNICA

