

# Le indagini geotecniche in accordo con le nuove norme tecniche per le costruzioni

**F. Ori** (\*)

(\*) Geologo – Libero Professionista

Tra le importanti novità introdotte dalle Nuove Norme Tecniche per le costruzioni, una notevole importanza per la nostra categoria riveste l'obbligatorietà della formulazione del modello geologico oltre che della caratterizzazione e modellazione geotecnica. E' questa un'importante conquista anche in considerazione che finora era piuttosto frequente il caso in cui, ad opera iniziata, si doveva ricorrere a modifiche sostanziali al progetto in quanto la carenza nella modellazione geologica o una insufficiente valutazione della pericolosità geologica del sito non aveva consentito di evidenziare con sufficiente chiarezza le difficoltà connesse alle scelte progettuali iniziali, o addirittura alla scelta del sito.

Vorremmo ricordare in questa sede che è compito esclusivo del geologo provvedere alla formulazione del modello e della caratterizzazione geologica, ma, sulla base delle più recenti disposizioni legislative, che è compito anche del geologo la formulazione della caratterizzazione geotecnica del sito oggetto di studio, offrendo al Progettista tutti i parametri necessari ad una corretta progettazione.

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 "*l 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 alla esecuzione delle principali prove di caratterizzazione (peso di volume, contenuto in acqua, 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.

## a) 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 portante 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 ( $C_u \neq 0 - \varphi = 0$ ). Le prove di laboratorio per la determinazione della resistenza al taglio in tali condizioni dovrebbero normalmente essere costituite da prove triassiali non consolidate e non drenate (UU) o in alternativa 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 la CPTU; entrambe queste prove, soprattutto la seconda, forniscono un profilo di dettaglio del sottosuolo e 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  $\sigma_{v0}$ , la variabilità piuttosto ampia consigliata dagli Autori per il valore di  $N_c$  ( $14 \div 20$ ) 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 per il prelievo di campioni indisturbati di tali materiali, viene determinato quasi esclusivamente attraverso correlazioni empiriche con prove in sito (CPT, SPT, Prove Pressiometriche, ecc.).

#### – 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:

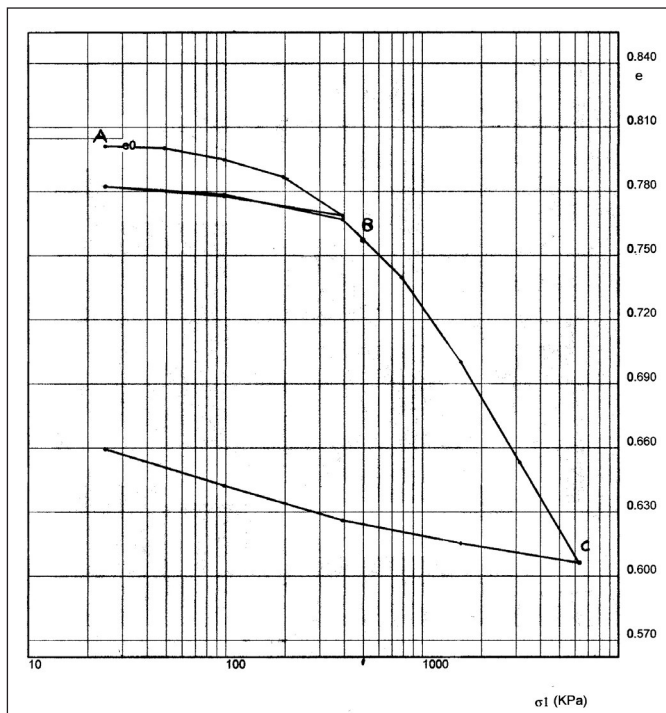


Figura 1

- 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:

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

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.

#### b) 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:  $\gamma$
- Parametri di resistenza:  $\phi$ ,  $c$ ,  $c_u$
- Pressione neutra:  $u$

I parametri di resistenza ed il peso di volume devono essere ricavati da prove di laboratorio su campio-

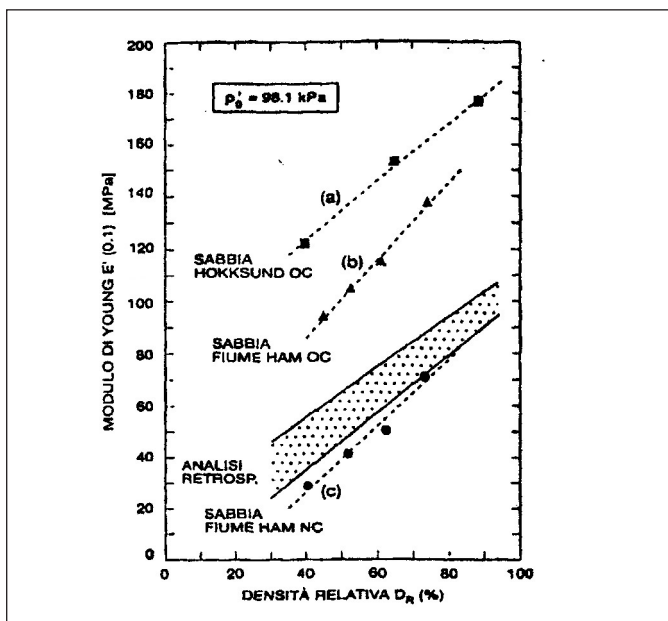


Figura 2

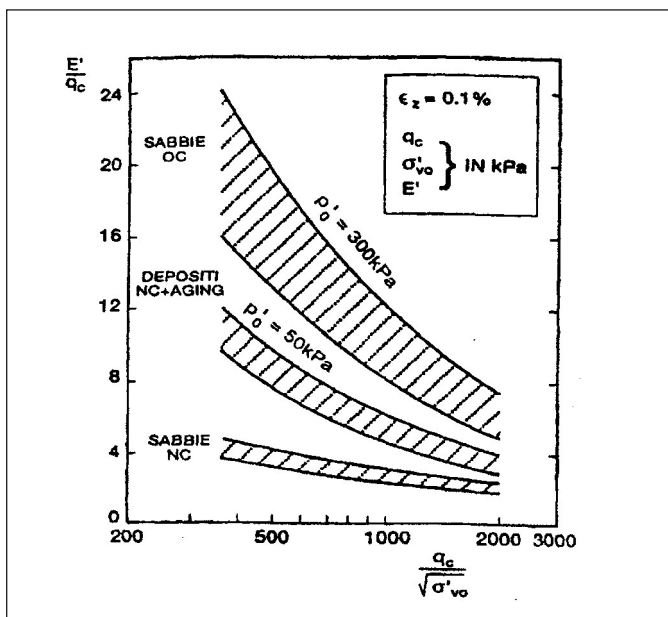


Figura 3

ni 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 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 con prove di taglio anulare.

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 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  $\sigma_1$  costante e  $\sigma_3$  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. LANCELLOTTA: (1987) *Potenzialità delle prove di laboratorio*. ATTI DELLE CONFERENZE DI GEOTECNICA DI TORINO XIII CICLO.
- R. LANCELLOTTA: (1987) *Geotecnica*. EDIZIONI ZANICHELLI.
- PELLEGRINO: (1974) *Finalità e programmazione delle indagini geotecniche*. 5° ciclo annuale di conferenze - POLITECNICO DI TORINO.
- G. SCARPELLI - U. HEGG - M. MANASSERO: (1999) *Il ruolo delle indagini geotecniche nella progettazione*. ATTI DEL XX CONVEGNO NAZIONALE DI GEOTECNICA.