

POSTE ITALIANE SPA - SPEDIZIONE IN ABBONAMENTO POSTALE - 70% - DCB FI

ANNO XXIII N. 90 - DICEMBRE 2012

IL GEOLOGO

TRIMESTRALE DELL'ORDINE DEI GEOLOGI DELLA TOSCANA



DICEMBRE 2012



ATTUALITÀ
BANDI PUBBLICI E ONORARI

SCIENZA E CULTURA
**UNA METODOLOGIA PER LA SCELTA
DEI PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI**

NORMATIVA
**RIFORMA DEGLI ORDINAMENTI PROFESSIONALI:
DPR N.137 DEL 7/8/2012**



Periodico d'informazione
dell'Ordine dei Geologi della Toscana

ANNO XXIII - N. 90 DICEMBRE 2012

Poste Italiane Spa
Spedizione in Abbonamento Postale
70% - DCB FI

Autorizzazione Tribunale di Lucca
N. 531 del 17/09/90

Direttore responsabile
MARIA TERESA FAGIOLI

Comitato di redazione
Il Consiglio dell'Ordine dei Geologi
della Toscana

Segreteria di redazione
Giovanna Cascone

Commissione editoriale
Giovanna Cascone, Fausto Capacci
Enrico Campolmi, Nicola Giovannini
Guido Lavorini, Duccio Monaci Naldini
Nicoletta Mirco, Carlo Pistolesi
Luciano Sergiampietri, Pietro Zezza

Commissione scientifica
Eros Aiello, Gianluca Cornamusini
Gianfranco Gargani, Roberto Giannecchini
Sergio Mattioli, Claudia Principe

Direzione, redazione centrale
via Fossombroni, 11 - 50136 Firenze
tel. 055 2340878 - fax 055 2269589
e-mail: il_geologo@geologitoscana.it
www.geologitoscana.it

Consiglio dell'Ordine
Maria Teresa Fagioli, Giovanna Cascone
Guido Lavorini, Nicoletta Mirco
Silvano Becattelli, Alessandra Biserna
Francesco Ceccarelli, Franco Ceccarini
Mauro Chessa, Fabio Martellini
Emilio Machetti

Editore
Ordine dei Geologi della Toscana
via Fossombroni, 11 - 50136 Firenze

Grafica
Silvia Cucuini

Stampa
Nuova Grafica Fiorentina Srl

Foto di copertina
Duna 45, Parco di Sesriem, Namibia.
Foto di Ilaria Rossi

È espressamente vietata la riproduzione di testi e foto
ai sensi e per gli effetti dell'art. 65
della legge n. 633 - 22.4.1941

EDITORIALE

2012: un anno da ricordare? 2
Maria Teresa Fagioli

ATTUALITÀ

Bandi pubblici e onorari 5
Francesco Ceccarelli

SCIENZA E CULTURA

D.M. 14 gennaio 2008, Eurocodice 7: una metodologia
per la scelta dei parametri geotecnici caratteristici 7
Raffaele Carbone

Le soglie pluviometriche critiche per l'innesco di frane
superficiali nella Media Valle del Serchio (LU) 16
Roberto Giannecchini, Yuri Galanti, Giacomo D'Amato Avanzi

La Carta geologica della Toscana a scala 1:250.000 19
Luigi Carmignani, Paolo Conti, Gianluca Cornamusini & Altair Pirro

RECENSIONE

William Bryant Logan - La pelle del Pianeta
Storia della terra che calpestiamo (Bollati Boringhieri Ed. - 2011) 23
Luciano Sergiampietri

NORMATIVA

Delibera di Giunta Regionale n. 878 del 8/10/2012
Regolamento n. 58/R del 22/10/2012
Decreto n. 5456 del 19/11/2012 24
I Geologi della Regione Toscana

BURT e non solo 25
Nicoletta Mirco

Riforma degli ordinamenti professionali: D.P.R. 7/8/2012 n. 137 27

VITA DELL'ORDINE

Terne segnalate 30
a cura del **Segretario**

Iscritti, cancellazioni, trasferimenti 31
a cura del **Segretario**

Elenco Delibere Consiglio dell'OGT 32
a cura del **Segretario**

D.M. 14 GENNAIO 2008, EUROCODICE 7: UNA METODOLOGIA PER LA SCELTA DEI PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI

Raffaele Carbone - Clemente Marco Tucci

GeoTecnico di Carbone & Tucci - Studio Associato di Geologia Applicata

Geotest S.a.s. - Laboratorio Geotecnico Autorizzato con Decreto 5249/2004 - Art. 59 D.P.R. 380/2001

laboratorio@geotest.it - www.geotest.it

PREMESSA

La determinazione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici è fondamentale per la verifica di un qualsiasi stato limite e nell'Eurocodice 7 viene suggerita la logica che deve sovrintendere alla loro scelta, in modo da rappresentare adeguatamente e con ragionevole cautela il comportamento del terreno. In tutti i casi la conoscenza della geologia del sito e l'esperienza su altre opere realizzate nel sito in studio può fornire utili indicazioni per la scelta dei valori dei parametri: le prove di laboratorio possono essere usate, quindi, come riscontro o controllo delle assunzioni. La costruzione dell'opera, inoltre, può influenzare le proprietà del terreno, in maniera positiva o negativa: anche se in molti casi tale influenza avverrà dopo che tutte le indagini e prove sono state completate, i valori caratteristici devono, comunque, tenere conto anche degli effetti causati dalla costruzione delle opere.

IL D.M. 14.01.2008 E LA CIRCOLARE 617/2009 DEL CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI

Nel Paragrafo 6.2.2 del D.M. 14.01.2008 si ritrova la seguente definizione: "*Per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato*". La definizione del D.M. riprende di fatto quella dell'Eurocodice 7, ma non offre metodi operativi per la loro determinazione. La Circolare 617/2009, nel paragrafo C6.2.2 riprende la definizione del valore caratteristico data dal D.M., facendo esplicito riferimento agli Eurocodici: "*... nella progettazione geotecnica, in coerenza con gli Eurocodici, la scelta dei valori caratteristici dei parametri deriva da una stima cautelativa, effettuata dal progettista, del valore del parametro appropriato per lo stato limite considerato*". Ciò indica chiaramente che la valutazione dei parametri caratteristici va eseguita alla luce delle

indicazioni dell'Eurocodice 7 e si specifica che la stima cautelativa va condotta sul parametro più appropriato per lo stato limite preso in considerazione (Di Bernardo, 2009). Infatti, viene premesso: "*...La scelta dei valori caratteristici dei parametri geotecnici avviene in due fasi. La prima fase comporta l'identificazione dei parametri geotecnici appropriati ai fini progettuali...*". Questo significa che prima di procedere al calcolo dei valori caratteristici dei parametri geotecnici (seconda fase), è necessario decidere quali, fra i vari parametri selezionabili, è quello più adeguato a descrivere il comportamento del terreno nella specifica verifica per lo stato limite considerato (Di Bernardo, 2009). Nel paragrafo C6.2.2 della Circolare, inoltre, viene chiarito, in maniera inequivocabile, cosa si intende nella pratica per valore caratteristico di un parametro geotecnico: "*Nelle valutazioni che il progettista deve svolgere per pervenire ad una scelta corretta dei valori caratteristici, appare giustificato il riferimento a valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno, con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti. Al contrario, valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici appaiono più giustificati nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno, con concentrazione delle deformazioni fino alla formazione di superfici di rottura nelle porzioni di terreno meno resistenti del volume significativo, o nel caso in cui la struttura a contatto con il terreno non sia in grado di trasferire forze dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti a causa della sua insufficiente rigidità. La scelta di valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici può essere dettata anche solo dalle caratteristiche dei terreni;... Una migliore approssimazione nella valutazione dei valori caratteristici può essere ottenuta operando le opportune medie dei valori dei parametri geo-*

tecniche nell'ambito di piccoli volumi di terreno, quando questi assumano importanza per lo stato limite considerato."

Le opere che coinvolgono grandi volumi di terreno sono quelle che inducono variazioni tensionali all'interno di una porzione sufficientemente elevata di sottosuolo da dare origine a una compensazione delle resistenze. Si parla in questo caso di **RESISTENZE COMPENSATE**: le zone di terreno a resistenza minima e massima vengono sollecitate contemporaneamente e quello che emerge è un comportamento meccanico intermedio fra i due estremi (**caso a**). Per questo motivo i valori caratteristici dei parametri geotecnici dovranno corrispondere ad una stima cautelativa del valore medio misurato ((Di Bernardo, 2009). Rientrano in questa categoria (Aiello, 2010):

- **terreno di sedimenti di fondazioni superficiali di grande estensione (platee) o di dimensione ridotta (plinti e travi) ma collegate rigidamente fra loro, in modo da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti;**
- **pali per la portata laterale;**
- **pendii naturali e fronti di scavo di elevata estensione;**
- **opere di contenimento di notevole altezza.**

Nel caso di opere che coinvolgono modesti volumi di terreno a essere sollecitate sono piccole porzioni di terreno in cui prevalgono le resistenze locali. Si parla, quindi, di **RESISTENZE NON COMPENSATE** e il valore caratteristico andrà selezionato prendendo come riferimento un valore prossimo al minimo misurato (**caso b**). Rientrano in questa categoria (Aiello, 2010):

- **terreno di base di un palo;**
- **verifica a scorrimento di un muro;**
- **plinti e travi non collegati;**
- **fronti di scavo di modesta ampiezza e muri di altezza contenuta;**
- **strutture con insufficiente rigidità.**

In pratica, le Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici suggeriscono che la determinazione del valore caratteristico è basata sul giudizio del geotecnico, così come quella operativa o di progetto. Nelle valutazioni che il geotecnico deve svolgere per pervenire ad una scelta corretta dei valori caratteristici, appare giustificato, secondo il CSLP, il riferimento a **valori prossimi ai valori medi** quando, come già detto, nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno, mentre si può fare riferimento ai **valori minimi** nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno.

In conclusione, pertanto, tenendo ferme le definizioni riportate:

- **per modesti lavori va bene quanto suggerito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;**
- **per lavori rilevanti e di grande impatto sul terreno, invece, è opportuno utilizzare il metodo suggerito dall'Eurocodice 7 e di cui si dirà diffusamente in seguito** (Aiello, 2010).

IL METODO STATISTICO E L'EUROCODICE 7 (norma europea prEN1997-1)

L'EC7, al punto 2.4.5.2 2(P), recita: "*Il valore caratteristico di un parametro geotecnico sarà scelto come una stima cautelativa del valore che influenza l'insorgere dello stato limite*". Definire il valore caratteristico significa pertanto scegliere il parametro geotecnico che influenza il comportamento del terreno in quel determinato stato limite, ed adottarne un valore, o stima, a favore della sicurezza. A tal riguardo, l'unica metodologia delineata dall'EC7 per la definizione dei valori caratteristici è di natura statistica (Nori, 2009). Questa non è resa obbligatoria, ma, tuttavia, non vengono esplicitamente espressi altri metodi di natura oggettiva, se non, al punto 2.4.5.2 12(P), l'eventuale utilizzo di tavole standardizzate (a discrezione degli stati membro).

IL VALORE "MEDIO"

In generale, in tutta la Letteratura specializzata, così come nella Circolare 617/2009 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, quando si parla di valore caratteristico, si parte sempre dal concetto di *valore medio*. A questo riguardo si possono definire tre tipi di valore medio: *valore medio statistico, spaziale e probabilistico* (Tanzini, 2006).

Il **valore medio statistico** è semplicemente la media aritmetica dei valori disponibili, ad esempio il complesso dei risultati di prove geotecniche in sito o di laboratorio

Il **valore medio spaziale** è la media dei valori di un determinato parametro (ad esempio l'angolo di resistenza al taglio) relativamente ad un determinato volume di terreno, come il volume di terreno interessato dall'applicazione di un carico o da una potenziale superficie di scivolamento.

Il **valore medio probabilistico** è un valore al di sotto del quale si colloca il 50% dei valori. La media probabilistica coincide con la media statistica se si ha a disposizione un campione di risultati numericamente significativi.

LE INDICAZIONI DELL'EUROCODICE 7

Nell'Eurocodice 7 la scelta del valore caratteristico deve partire da una stima della media spaziale. Lo stesso Eurocodice 7 chiarisce che, partendo dal fatto che molti stati limite dipendono dalla variabilità e dal valore medio del terreno nel volume di interesse, si potrà *scegliere* di avere una probabilità del 5% che un valore peggiore governi il comportamento del materiale in sito o, in un'ottica molto meno pessimistica, scegliere una semplice stima cautelativa del valore medio spaziale. In generale quando il campo di variabilità dei dati ottenuti dalle prove è ristretto, quando cioè non si ha una sistematica variazione dei risultati a seconda della posizione dei campioni analizzati nell'area del progetto e con la profondità, e quindi le variazioni possono essere trattate come casuali, potrà essere accettabile adottare un valore cautelativo medio spaziale. Dove, invece, il campo di variazione dei valori ottenuti

dalle prove di laboratorio è ampio, è necessario adottare un valore caratteristico più pessimistico: con riferimento ad una distribuzione statistica tale probabilità può essere associata al frattile 5%. Tale scelta è considerata la più attendibile nel punto 2.4.5.2 11 e la relativa nota dell'Eurocodice 7. Pertanto è a questo frattile che si farà riferimento nelle elaborazioni successivamente presentate.

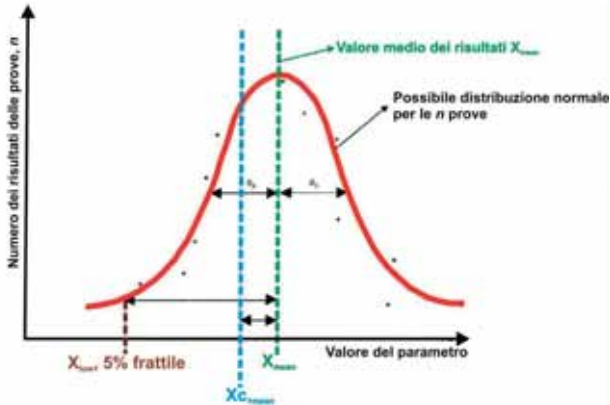


Figura 1 - Stima cautelativa del valore medio $X_{c,mean}$ e stima cautelativa del valore medio locale $X_{c,low}$ relativo al frattile inferiore al 5% sulla base dei valori di X_{mean} (valore medio aritmetico) e di S_x (Coefficiente statistico di variazione, COV) di una serie di n risultati di prove geotecniche (Tanzini, 2006)

LA METODOLOGIA STATISTICA RISPONDENTE ALLE INDICAZIONI DELL'EUROCODICE 7

Per strati di terreno dove il parametro geotecnico considerato non mostra una significativa e sistematica variabilità in direzione orizzontale o con la profondità, senza la presenza di significative zone di terreno con proprietà più scendenti, il valore caratteristico X_c può essere determinato, sulla base di una serie di valori ottenuti da prove geotecniche di laboratorio, con la seguente espressione (Frank et al., 2004):

$$X_c = X_{mean} \cdot (1 - K_{mean} \cdot s)$$

dove: X_c = valore caratteristico del parametro geotecnico considerato

X_{mean} = valore medio aritmetico relativo ad una serie n di risultati ottenuti da prove di laboratorio eseguite sui campioni ritenuti dal professionista come afferenti al volume di terreno interessato;

K = variabile dipendente dalla legge di distribuzione di Student e della probabilità di non superamento adottata;

$s = d_v/X_{mean}$ = deviazione standard della distribuzione/valore medio della distribuzione.

In questo caso, quindi, il valore caratteristico scelto rappresenta una stima cautelativa del valore medio X_{mean} della popolazione statistica. I valori di K_{mean} da utilizzare nell'equazione, come specificato nella definizione, sono quelli ricavabili dalla distribuzione di Student, dove

$K_{n,mean} = t_{n-1}^{0,95} \sqrt{1/n}$ (con n = numero dei dati disponibili dalle prove di laboratorio eseguite per il livello geotecnico considerato). Il coefficiente $K_{n,mean}$ è calcolato tenendo conto che il fattore "t" relativo alla distribuzione di Student è riferito ad una probabilità del 95% (Frank et al., 2004). Analogamente, per i valori caratteristici dei principali parametri geotecnici da adottare quando il volume del terreno interessato dallo stato limite è piccolo, con riferimento alla lunghezza di fluttuazione della proprietà del terreno, o quando si può assumere che il comportamento del terreno è governato da valori locali bassi, si applica la stessa relazione, ma il coefficiente K , definito in questo caso $K_{n,low}$ è calcolato con la seguente espressione: $K_{n,low} = t_{n-1}^{0,95} \sqrt{1/n+1}$ (con n sempre uguale al numero dei dati disponibili dalle prove di laboratorio eseguite per il livello geotecnico considerato). Da ciò si ricava che, anche in questo caso, è valida la relazione

$$X_c = X_{mean} \cdot (1 - K_{low} \cdot s)$$

dove i valori del coefficiente $K_{n,low}$ sono calcolati, per la definizione del valore caratteristico, come frattile inferiore al 5% (Frank et al., 2004).

Pertanto, mantenendo ferma la relazione di Frank et Al (2004), la differenza fra i due casi si sostanzia nella scelta del valore di K .

In pratica, per l'applicazione del metodo e, quindi, per il calcolo del K rispondente al caso considerato, bisogna applicare formulazioni statistiche molto complesse o andare alla ricerca di tabellazioni che, spesso, in Letteratura sono molto parziali. Si riporta di seguito una simulazione del calcolo di K per un numero di dati disponibili pari a 6:

$K_{n,mean} = t_{n-1}^{0,95} \sqrt{1/n}$		$K_{n,low} = t_{n-1}^{0,95} \sqrt{(1/n) + 1}$		$n = p = 95\%$	
n	$K_{n,mean}$	n	$K_{n,low}$	n	t
3	1,69	3	3,37	2	2,92
4	1,18	4	2,73	3	2,353
5	0,95	5	2,33	4	2,132
6	0,82	6	2,18	5	2,015
8	0,67	8	2,00	7	1,895
10	0,58	10	1,92	10	1,812
20	0,39	20	1,76	20	1,725
30	0,31	30	1,73	30	1,686
∞	0,00	∞	1,64	∞	1,645

Valori di K_{mean} per un intervallo di confidenza del 95 %

Valori di K_{low} come frattile inferiore al 5 %

Valori del fattore "t" della distribuzione di Student

Esempi: per $n = 6 \rightarrow n-1 = 5 \rightarrow t = 2,015 \rightarrow K_{mean} = 2,015 \cdot \sqrt{1/6} = 0,82$
 per $n = 6 \rightarrow n-1 = 5 \rightarrow t = 2,015 \rightarrow K_{low} = 2,015 \cdot \sqrt{1/6 + 1} = 2,18$

UN METODO ALTERNATIVO DI CALCOLO

Al posto delle classiche tabellazioni ricavabili dalla Letteratura specializzata in materia di statistica, per i valori di $t_{n-1}^{0,95}$ si sono elaborate funzioni matematiche originali per il calcolo diretto del fattore K per i due casi K_{mean} e K_{low} :

$$K_{mean} = 6,891 \cdot e^{(-0,6661 \cdot x)} + 0,8315 \cdot e^{(-0,03509 \cdot x)}$$

(I valori ricavabili dall'equazione si approssimano a quelli ottenibili da un'applicazione *esatta* della distribuzione di Student con un R^2 pari a 0,9971)

$$K_{low} = 8,703 \cdot e^{-0,6081 \cdot x} + 1,997 \cdot e^{-0,005196 \cdot x}$$

(I valori ricavabili dall'equazione si approssimano a quelli ottenibili da un'applicazione *esatta* della distribuzione di Student con un R^2 pari a 0,9988)

Dove: x = numero dei dati disponibili per il parametro geotecnico considerato - e = 2,7182818

Si riporta in forma grafica lo scostamento dei valori di K_{mean} e K_{low} ricavabili dalle equazioni proposte, da quelli ottenibili dalla *distribuzione di Student*.

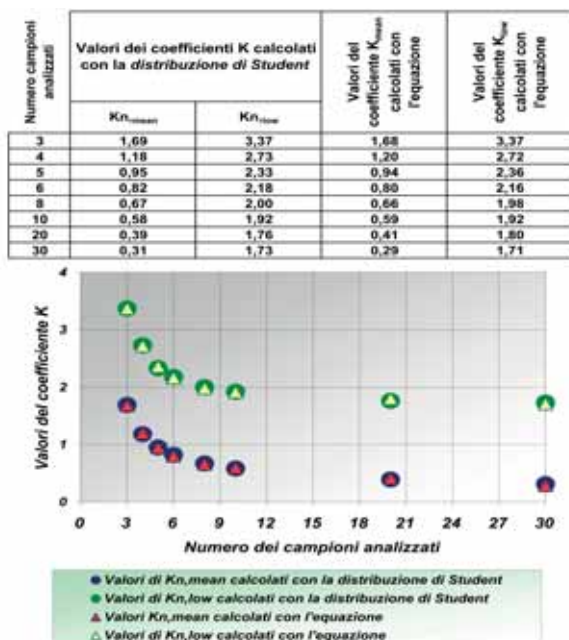


Figura 3 - Rappresentazione grafica dei valori di $K_{n,mean}$ e $K_{n,low}$ ricavabili dalla distribuzione di Student e dalle equazioni proposte

Si riporta un esempio di calcolo per valori fissi della media aritmetica (X_{mean}) e del Coefficiente di variazione (COV) di una serie di 8 dati relativi all'Angolo di resistenza al taglio:

Simulazione di applicazione delle formule

Calcolo del Parametro caratteristico ϕ' (Angolo di resistenza al taglio in condizioni drenate) per:

n (numero dei dati disponibili) = 8
 X_{mean} (valore della media aritmetica dei dati) = 26,5°
COV (coefficiente di variazione) = 0,15

Caso a)
 K_{mean} (calcolato con la distribuzione di Student) = 0,66998
 $X_c = X_{mean} \cdot (1 - K_{mean} \cdot s) = 26,5^\circ \cdot (1 - 0,66998 \cdot 0,15) = 23,8^\circ$
 K_{mean} (calcolato con la formula di Carbone) = 0,63283
 $X_c = X_{mean} \cdot (1 - K_{mean} \cdot s) = 26,5^\circ \cdot (1 - 0,63283 \cdot 0,15) = 23,9^\circ$

Caso b)
 K_{low} (calcolato con la distribuzione di Student) = 2,009951
 $X_c = X_{mean} \cdot (1 - K_{low} \cdot s) = 26,5^\circ \cdot (1 - 2,009951 \cdot 0,15) = 18,5^\circ$
 K_{low} (calcolato con la formula di Carbone) = 1,98282
 $X_c = X_{mean} \cdot (1 - K_{low} \cdot s) = 26,5^\circ \cdot (1 - 1,98282 \cdot 0,15) = 18,5^\circ$

IL CASO DI STUDIO

Vediamo ora un esempio pratico di applicazione della metodologia di individuazione dei parametri geotecnici caratteristici. Ci si riferisce ad una campagna geognostica effettuata per la realizzazione di un viadotto sul *Torrente Orata - Calitri (AV)*, nel corso della quale sono stati effettuati 4 sondaggi a rotazione e carotaggio continuo, spinti alla profondità di 30 metri, e prelevati 24 campioni indisturbati di terreno, successivamente analizzati in laboratorio geotecnico.



L'inquadramento geologico dell'area

Nell'area è stato eseguito un rilevamento geologico-geomorfologico su base topografica in scala 1:2.500.

Il rilevamento ha evidenziato l'affioramento dei seguenti tipi litologici:

- a) Alluvioni costituite da materiale detritico in matrice limo-argillosa di colore marrone chiaro;
- b) Argille e argille marnose di colore grigio.

- a) Si tratta, sotto il profilo granulometrico, di materiale detritico costituito da abbondanti ciottoli a spigoli vivi, immersi in una matrice essenzialmente limosa di colore marrone chiaro. Il deposito non di rado contiene livelli decimetrici di pezzame lapideo calcareo e calcareo-marnoso e/o di calcare fratturato bianco con noduli di selce rosso-azzurra. Ovviamente, soprattutto negli spessori più superficiali il materiale alluvionale-detritico è misto a terreno vegetale. Questi termini litologici risultano poco addensati, con spessore limitato, variabile da un minimo di 2.80 metri (S1 - S4) ad un massimo di 4.20 metri (S3). Nella parte terminale, al passaggio con le sottostanti *Argille grigie*, il deposito passa gradualmente ad un *limo argilloso con radi ciottoli e venature rossastre* (è sostanzialmente in questo livello che sono stati prelevati i campioni sottoposti ad analisi geotecniche). Questi termini litologici sono ovviamente riscontrabili solamente in corrispondenza della stretta fascia prospiciente l'alveo del Torrente Orata.
- b) Si tratta di alternanze di argille prevalentemente grigie e scagliettate, con rari livelli di marne calcaree e calcari in strati decimetrici. Dalla *lettura* dei log stratigrafici ricavati dalla perforazione dei sondaggi geognostici, nonché dai risultati delle prove geotecniche in sito e in laboratorio, si evince chiaramente che lo stato di addensamento e le condizioni geostrutturali di questi termini litologici mi-

glierano decisamente con la profondità. In particolare, intorno a - 20 metri, le *argille* passano a marne argillose compatte e omogenee. All'interno del primo spessore, invece, è possibile individuare chiaramente una differenziazione sia in termini granulometrico-tessiturali, sia in termini di risposta geomeccanica: da ~ - 3.00 m a ~ - 7.00 m, le argille risultano laminate, plastiche e compressibili, disturbate tettonicamente e a frattura concoide; da ~ - 7.00 m a ~ - 20.00 m, invece, le caratteristiche fisico-meccaniche migliorano e sono decisamente meno evidenti gli effetti di quella accentuata tettonizzazione che solitamente caratterizza questi termini geologici.



Figura 6 - Carta Geologica-Geomorfologica e della ubicazione delle indagini

L'inquadramento geomorfologico del sito di interesse

Il sito del costruendo viadotto è ubicato sull'alveo del Torrente Orata che scorre con asse ~ E-W. Poco distante, a ~ 150 m, è presente la confluenza con un'altra linea di incisione che versa le sue acque, appunto, nello stesso Torrente Orata. Sono questi i due elementi morfologici di rilievo che condizionano, oltre alla natura dei terreni affioranti, la morfologia dei luoghi oggetto dello studio. Il paesaggio, infatti, è tipico di aree il cui modellamento è dovuto a processi morfogenetici quali frane ed erosione lineare, con linee di drenaggio a densità elevata e a sviluppo dendritico. Ciò è dovuto alla spiccata predisposizione alla franosità dei termini argillosi ad alta plasticità delle successioni

affioranti nell'area, assumendo particolare rilevanza nel caso di contatto delle argille con acqua. Il versante a N-W del sito dove verrà realizzato il viadotto è solcato da una fitta rete di rigagnoli e solchi a cui sono associati fenomeni di instabilità. Questi fenomeni sono imputabili all'intensa erosione lineare operata dai solchi torrentizi, alle acque di scorrimento selvaggio, per niente regimate, e, come già detto, alla natura dei terreni affioranti. E' possibile così individuare un'area più vasta, definibile *frana quiescente*, caratterizzata da gradini morfologici, avvallamenti, zone di accumulo recente, all'interno della quale risulta evidente una zona più ristretta in cui l'instabilità è palesemente in piena attività. In buona sostanza il pendio lungo il quale si dovrebbe sviluppare il tracciato stradale dopo il viadotto, così come previsto dal *percorso di progetto*, presenta una sorta di disequilibrio gravitativo latente, a luoghi attivo, comunque suscettibile di riattivazione.

L'area ristretta, che sarà interessata dalla realizzazione del viadotto, invece, non è interessata da fenomeni gravitativi dalle evidenze superficiali. Come meglio verrà specificato in seguito, le terebrazioni effettuate rilevano una coltre superficiale alterata, consistente in *Depositi alluvionali-detritici*, profonda mediamente circa 3.00 metri, e un successivo spessore, di circa 4.00 metri, rappresentante la porzione più superficiale e alterata delle sottostanti *Argille e argille marnose*. I terreni alluvionali e detritici mostrano, comunque, evidenti segni di fenomeni superficiali, consistenti in soliflusso, accentuati dal ruscellamento selvaggio e dall'imbibizione delle acque di precipitazione meteorica.

L'analisi geotecnica e la scelta dei parametri caratteristici

La lettura delle stratigrafie dei sondaggi e i risultati delle analisi geotecniche hanno permesso l'individuazione di 4 *orizzonti geotecnici*, corrispondenti ad altrettante condizioni strutturali e geomeccaniche dei terreni attraversati dalle terebrazioni. Su tutti i campioni, oltre alla definizione delle caratteristiche fisiche, delle proprietà indice e delle caratteristiche granulometriche, sono state effettuate prove edometriche, prove triassiali del tipo CD e prove di compressione ad Espansione Laterale Libera (E.L.L.). Le prove triassiali hanno permesso l'acquisizione dei parametri geomeccanici a lungo termine (*Condizioni drenate*). Le prove di compressione E.L.L. hanno permesso l'acquisizione della *Coesione non drenata*. Sui soli campioni afferenti all'*orizzonte geotecnico* più superficiale, che, come già detto, da evidenze di superficie e dall'analisi del carotaggio continuo mostrava evidenti segni di alterazione e scompaginarsi, è stata effettuata anche la prova di *Taglio Torsionale su provino anulare* per l'acquisizione della resistenza residua. Quest'ultima metodologia di prova, rispetto ai classici cicli di reverse nella scatola di Casagrande, come è noto, meglio rappresenta le condizioni *ultime* di resistenza meccanica.

I sondaggi sono stati eseguiti lungo una direzione perpendicolare al letto del Torrente Orata, esattamente lungo il tracciato del viadotto, ad una distanza reciproca di ~ 40 metri, ed hanno interessato, in senso trasversale, tutta la fascia di affioramento dei depositi detritico-alluvionali (~ 120 metri).

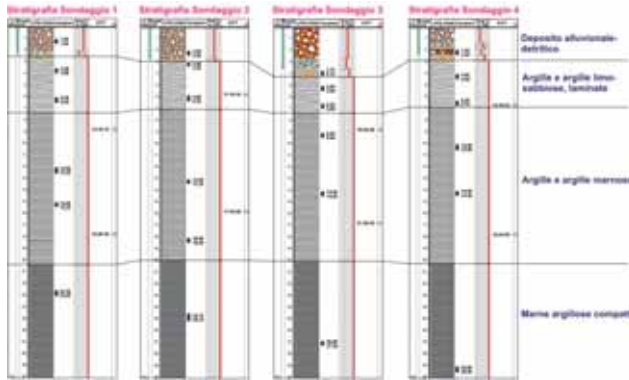


Figura 7 - Stratigrafie Sondaggi geostatici

Gli orizzonti geotecnici individuati sono:

- **Orizzonte geotecnico 1 - Deposito alluvionale-detritico - prof. 0,00-3,00 m;**
- **Orizzonte geotecnico 2 - Argille e argille limo-sabbiose, laminate - prof. 3,00-7,00 m;**
- **Orizzonte geotecnico 3 - Argille e argille marnose - prof. 7,00-20,00 m;**
- **Orizzonte geotecnico 4 - Marne argillose compatte - prof. 20,00-30,00 m.**

Si riportano di seguito i risultati delle analisi geotecniche effettuate e delle elaborazioni statistiche conseguenti, distinte per orizzonte geotecnico:

- **Orizzonte geotecnico 1 - Deposito alluvionale-detritico - prof. 0,00-3,00 m**

PARAMETRI FISICI															
N° Sondaggio	RIL. interno	Sond. Camp.	Profondità	Analisi Granulometrica											
				T _s (g/m ³)	W _n (%)	T _v	LL (%)	LP (%)	LP ₁₀ (%)	I.C.	G	S	L	A	
1	148-09	1	1,00	1,40	18,1	28,4	2,28	64,3	75,4	75,1	0,30	52,0	24,5	26,1	27,2
2	154-09	2	2,00	2,40	18,5	28,1	2,29	60,4	72,7	70,7	0,38	55,7	23,2	26,5	34,2
3	151-09	3	3,70	4,10	16,8	26,7	2,77	64,7	74,9	73,5	0,35	55	23,4	26,4	47,4
4	152-09	4	1,80	2,20	19,0	29,2	2,40	57,3	73,1	72,2	0,39	58,7	25,4	24,4	35,9
VALORE MASSIMO				18,50	28,40	2,77	74,50	78,40	78,50	0,39	59,20	26,40	44,40	31,40	
VALORE MINIMO				16,80	26,70	2,28	60,40	72,70	70,70	0,30	52,00	23,20	26,50	34,20	
MEDIANA				18,35	28,43	2,59	64,13	73,25	71,80	0,35	57,45	25,25	37,50	28,35	
DEVIAZIONE STANDARD				0,37	0,76	0,13	7,40	1,51	0,54	0,30	1,24	0,70	13,01		
COEFFICIENTE DI VARIAZIONE %				2,0	30,3	5,2	11,3	2,1	3,3	4,8	10,1	10,8	33,4		

PARAMETRI GEOMECCANICI										
N° Sondaggio	RIL. interno	Sond. Camp.	Profondità	C _v (kPa)				Cu (kPa)		
				C _v	φ [*] (°)	10φ [*]	10φ _r (°)			
1	148-09	1	1,00	1,40	18,7	17,3	0,31	14,8	0,25	45
2	154-09	2	2,00	2,40	18,4	22,5	0,41	19,4	0,35	54
3	151-09	3	3,70	4,10	20,2	21,4	0,28	16,3	0,33	18
4	152-09	4	1,80	2,20	20,3	18,4	0,33	14,8	0,27	47
VALORE MASSIMO				22,20	22,50	0,41	19,40	0,35	70,0	
VALORE MINIMO				16,70	17,30	0,27	14,80	0,25	45,0	
MEDIANA				17,45	18,90	0,36	16,35	0,30	55,3	
DEVIAZIONE STANDARD				3,90	2,45	0,05	2,01	0,05	10,5	
COEFFICIENTE DI VARIAZIONE %				22,0	13,1	15,0	13,7	10,8	25,3	

Tabella 1a - Orizzonte geotecnico 1 - Risultati delle analisi fisico-meccaniche

I valori percentuali del coefficiente di variazione (COV) risultano, per i più significativi parametri geotecnici, superiori al 10%.

Il COV esprime una misura dell'affidabilità della tendenza centrale di una serie di dati o, in maniera equivalente, della

dispersione della componente fluttuante rispetto al valore medio del trend. Minore è il valore del COV, minore la dispersione dei dati. Dalla Letteratura (Vannucchi, Uzielli, 2004) risulta che valori del COV inferiori al 10% possano essere considerati "bassi"; valori compresi tra 10 e 30%, "medi"; valori superiori al 30%, "alti".

Nel nostro caso risultano significativi, in particolare, i valori del Coefficiente di Variazione della Coesione drenata e della Coesione non drenata, risultando comunque superiori al 10% quelli dell'Angolo della resistenza al taglio drenata e residua. Pertanto, data la variabilità intrinseca dei valori, in considerazione anche del fatto che il comportamento del terreno è governato da valori locali bassi, facendo riferimento al frattile 5%, nelle formulazioni si è ritenuto di applicare il valore di K_{Low} . A tal proposito, si rammenta che la stima cautelativa comporta generalmente valori più bassi del valore medio dei dati a disposizione, ma talora, in particolari circostanze, può comportare valori più alti (come nel nostro caso, attrito negativo lungo il fusto di pali, ma anche densità del terreno nelle verifiche di stabilità dei pendii, cedimenti differenziali, etc.).

I principali valori dei parametri geotecnici caratteristici per questo orizzonte saranno:

Densità naturale	$\gamma_{sat} = \gamma_{sat} \cdot (1 - k \cdot s_{at})$	= 17,3	kN/m ³
Coesione (densità efficace)	$C'_{low} = C'_{sat} \cdot (1 - k \cdot s_{at})$	= 3,4	kPa
Tangente dell'Angolo di resistenza al taglio (densità efficace)	$\tan \phi'_{low} = \tan \phi'_{sat} \cdot (1 - k \cdot s_{at})$	= 0,2283	Angolo (°) 12,9
Tangente dell'Angolo di resistenza al taglio residuo	$\tan \phi_{residuo} = \tan \phi_{sat} \cdot (1 - k \cdot s_{at})$	= 0,1620	Angolo (°) 9,2
Coesione non drenata	$C_{u,low} = C_{u,sat} \cdot (1 - k \cdot s_{at})$	= 10,0	kPa

Tabella 1b - Orizzonte geotecnico 1 - Parametri geotecnici caratteristici

- **Orizzonte geotecnico 2 - Argille e argille limo-sabbiose, laminate - prof. 3,00-7,00 m**

PARAMETRI FISICI																
N° Sondaggio	RIL. interno	Sond. Camp.	Profondità	Analisi Granulometrica												
				T _s (g/m ³)	W _n (%)	T _v	LL (%)	LP (%)	LP ₁₀ (%)	I.C.	G	S	L	A		
1	153-09	1	3,00	4,40	20,0	28,1	2,27	20,3	20,7	10,1	0,01	0,0	25,4	40,2	24,2	
2	154-09	2	4,00	4,45	19,5	18,2	2,23	29,9	19,8	10,1	0,16	0,0	8,9	28,5	67,4	
3	155-09	3	1,00	3,00	20,5	14,8	2,74	28,7	28,4	10,3	0,47	0,0	19,1	34,4	46,7	
4	156-09	4	1,00	4,00	20,2	21,2	2,73	40,5	24,2	13,0	0,30	0,0	10,7	25,5	66,1	
5	157-09	5	1,00	4,00	20,1	19,7	2,71	39,1	27,1	10,0	0,26	0,0	10,1	24,4	64,9	
6	158-09	6	3,50	4,90	20,5	22,8	2,73	40,1	27,7	12,4	0,40	0,5	12,2	26,7	50,2	
7	159-09	7	4,00	4,40	19,2	16,7	2,73	26,4	19,7	7,7	0,07	1,4	18,1	37,9	23,1	
8	160-09	8	3	4,20	4,70	20,9	20,7	2,75	27,7	23,7	11,5	1,20	0,0	24,6	29,7	30,9
VALORE MASSIMO				20,50	22,80	2,74	40,50	29,40	14,73	1,49	0,49	0,50	40,20	64,90		
VALORE MINIMO				19,20	16,70	2,23	26,40	19,80	7,70	0,01	0,00	0,00	8,90	23,10		
MEDIANA				20,00	19,83	2,73	37,54	23,71	14,71	0,31	0,38	0,30	18,53	33,84	47,08	
DEVIAZIONE STANDARD				0,45	2,40	0,01	11,53	3,70	0,81	0,23	0,33	10,23	1,97	15,01		
COEFFICIENTE DI VARIAZIONE %				2,3	13,1	0,2	31,2	16,2	6,0	17,4	135,9	34,3	17,1	31,9		

PARAMETRI GEOMECCANICI									
N° Sondaggio	RIL. interno	Sond. Camp.	Profondità	C _v (kPa)					
				C _v	φ [*] (°)	10φ [*]	Cu (kPa)		
1	153-09	1	3,00	4,40	20,5	18,8	0,26	30	
2	154-09	2	4,00	4,45	19,5	22,3	0,41	30	
3	155-09	3	1,00	3,00	21,7	23,7	0,44	30	
4	156-09	4	1,00	4,00	20,6	19,8	0,38	30	
5	157-09	5	1,00	4,00	20,4	19,8	0,38	30	
6	158-09	6	3,50	4,90	22,4	21,4	0,41	30	
7	159-09	7	4,00	4,40	16,7	25,4	0,47	30	
8	160-09	8	3	4,20	4,70	21,7	19,8	0,38	30
VALORE MASSIMO				21,70	25,40	0,47	70,0		
VALORE MINIMO				16,70	19,80	0,31	30,0		
MEDIANA				20,41	21,20	0,36	54,4		
DEVIAZIONE STANDARD				4,30	7,80	0,05	8,5		
COEFFICIENTE DI VARIAZIONE %				21,0	35,7	13,7	24,4		

Tabella 2a - Orizzonte geotecnico 2 - Risultati delle analisi fisico-meccaniche

Anche per questo secondo orizzonte geotecnico i valori percentuali del coefficiente di variazione (COV) risultano, per i più significativi parametri geotecnici, superiori al 10%.

Pertanto, data la variabilità intrinseca dei valori e, soprattutto, le caratteristiche di alterazione dello strato, che mostra, dall'analisi del carotaggio continuo, significative variazioni strutturali e tessiturali, facendo riferimento al frattile 5%, nelle formulazioni si è ritenuto di applicare il valore di K_{low} . I principali valori dei parametri geotecnici caratteristici per questo orizzonte saranno:

Densità naturale	$\gamma_{med} = \gamma_{sat} \cdot (1 - k \cdot s_{at})$	= 19,1	AN/m ³
Coesione (tensori efficaci)	$C'_{med} = C'_{sat} \cdot (1 - k \cdot s_{at})$	= 13,8	kPa
Tangente dell'Angolo di resistenza al taglio (tensori efficaci)	$\tan \phi'_{med} = \tan \phi'_{sat} \cdot (1 - k \cdot s_{at})$	= 0,2661	Angolo (°) 16,0
Coesione non drenata	$Cu_{med} = Cu_{sat} \cdot (1 - k \cdot s_{at})$	= 46	kPa

Tabella 2b - Orizzonte geotecnico 2 - Parametri geotecnici caratteristici

• **Orizzonte geotecnico 3 - Argille e argille marnose - prof. 7,00-20,00 m**

PARAMETRI FISICI										Analisi Granulometrica						
N° Forante	Rit. Interno	Sond.	Camp.	Profondità	γ_n (kN/m ³)	Wn (%)	γ_s	LL (%)	LP (%)	I.P. (%)	I.C.	G	S	L	A	
1	H1-09	1	4	12,00	12,50	20,2	18,3	27,2	38,4	76,2	12,2	1,85	0,0	30,0	38,3	31,7
2	H2-09	1	5	15,00	15,35	20,1	17,2	27,1	38,3	75,0	11,7	1,60	0,0	23,0	28,5	27,5
3	H3-09	2	4	13,00	13,25	20,2	16,5	27,0	38,2	8,1	12,5	0,1	14,1	28,9	46,9	—
4	H4-09	2	1	18,00	18,40	20,7	15,4	27,3	38,5	28,8	10,9	2,21	0,0	14,3	30,2	55,5
5	H5-09	3	4	18,00	18,40	20,7	18,6	27,2	37,7	76,2	11,6	1,46	0,0	27,7	38,0	33,8
6	H6-09	3	5	14,00	14,40	20,5	17,4	27,1	37,8	24,1	8,9	1,73	0,0	18,5	48,5	46,0
7	H7-09	4	4	18,00	18,50	20,4	17,7	27,1	38,2	28,4	10,8	1,79	0,0	19,4	38,0	42,6
8	H8-09	4	5	14,00	14,40	20,7	16,2	27,2	38,4	18,5	12,2	0,0	17,8	37,4	37,1	—
VALORE MASSIMO					20,70	18,80	27,8	38,50	28,80	12,20	2,25	0,38	37,50	41,50	55,50	—
VALORE MINIMO					19,10	15,40	27,1	37,80	24,10	8,10	1,22	1,00	14,10	28,50	27,50	—
MEDIA					20,45	17,10	27,1	38,01	28,30	10,20	1,77	0,64	24,25	36,30	38,34	—
MEDIANA					20,45	17,10	27,1	38,01	28,30	10,20	1,77	0,64	24,25	36,30	38,34	—
DEVIAZIONE STANDARD					0,21	1,52	0,00	4,12	1,88	1,50	0,53	0,11	6,87	3,80	8,37	—
COEFFICIENTE DI VARIAZIONE %					1,0	8,9	0,0	11,6	12,1	14,1	11,5	20,2	20,1	19,7	14,1	—

PARAMETRI GEOMECCANICI									
N° Forante	Rit. Interno	Sond.	Camp.	Profondità	C' (kPa)	ϕ' (°)	$100\phi'$	Cu (kPa)	
1	H1-09	1	4	12,00	12,50	30,5	16,5	16,5	120
2	H2-09	1	5	15,00	15,35	63,4	19,0	0,32	110
3	H3-09	2	4	13,00	13,25	62,5	19,4	0,33	120
4	H4-09	2	1	18,00	18,40	66,4	17,8	0,32	121
5	H5-09	3	4	18,00	18,40	52,4	16,9	0,32	100
6	H6-09	3	5	14,00	14,40	58,8	17,1	0,31	99
7	H7-09	4	4	18,00	18,50	63,4	18,2	0,33	100
8	H8-09	4	5	14,00	14,40	54,0	18,3	0,32	101
VALORE MASSIMO					64,00	19,50	0,33	121,0	
VALORE MINIMO					30,50	16,50	0,32	100,0	
MEDIA					57,50	18,00	0,32	104,3	
MEDIANA					57,50	18,00	0,32	104,3	
DEVIAZIONE STANDARD					6,53	0,53	0,01	10,5	
COEFFICIENTE DI VARIAZIONE %					11,3	3,1	0,03	10,3	

Tabella 3a - Orizzonte geotecnico 3 - Risultati delle analisi fisico-meccaniche

Per questo *orizzonte geotecnico* i valori del COV % dei principali parametri geotecnici è inferiore al 10%, a testimonianza di una bassa fluttuazione dei dati. Rientriamo nel caso in cui le variazioni dei parametri geotecnici sono del tutto casuali, senza la presenza di significative zone di terreno con proprietà più scadenti e senza significative fluttuazioni dei valori con la profondità. Inoltre, rientriamo nel caso di RESISTENZE NON COMPENSATE (*pali per la portata laterale*). Si assume, pertanto, che il comportamento geomeccanico del terreno è governato dai valori medi dei parametri geotecnici e i valori caratteristici sono una semplice stima cautelativa di tali valori.

Densità naturale	$\gamma_{med} = \gamma_{sat} \cdot (1 - k \cdot s_{at})$	= 20,3	AN/m ³
Coesione (tensori efficaci)	$C'_{med} = C'_{sat} \cdot (1 - k \cdot s_{at})$	= 54,3	kPa
Tangente dell'Angolo di resistenza al taglio (tensori efficaci)	$\tan \phi'_{med} = \tan \phi'_{sat} \cdot (1 - k \cdot s_{at})$	= 0,3196	Angolo (°) 17,7
Coesione non drenata	$Cu_{med} = Cu_{sat} \cdot (1 - k \cdot s_{at})$	= 98	kPa

Tabella 3b - Orizzonte geotecnico 3 - Parametri geotecnici caratteristici

• **Orizzonte geotecnico 4 - Marne argillose compatte - prof. 20,00-30,00 m**

Anche per quest'ultimo orizzonte geotecnico è possibile

PARAMETRI FISICI										Analisi Granulometrica						
N° Forante	Rit. Interno	Sond.	Camp.	Profondità	γ_n (kN/m ³)	Wn (%)	γ_s	LL (%)	LP (%)	I.P. (%)	I.C.	G	S	L	A	
1	H9-09	1	4	22,00	22,00	20,6	16,2	27,1	34,2	24,1	10,1	1,79	0,0	22,8	35,5	41,7
2	H10-09	2	4	24,70	25,10	20,7	16,0	27,0	35,3	23,9	11,5	1,68	0,0	27,4	34,2	44,4
3	H11-09	3	4	26,80	27,20	20,8	15,1	27,1	35,1	24,4	11,3	1,76	0,0	26,8	28,9	44,3
4	H12-09	4	4	28,80	29,20	20,8	16,1	27,4	34,9	24,0	10,8	1,73	0,0	19,7	34,7	48,6
VALORE MASSIMO					20,70	16,20	27,8	35,70	24,40	11,50	1,79	—	22,50	36,80	43,60	—
VALORE MINIMO					20,60	15,80	27,0	34,20	23,90	10,0	1,68	—	19,70	34,30	42,60	—
MEDIA					20,65	16,00	27,2	35,00	24,00	10,80	1,74	—	20,80	35,30	43,80	—
MEDIANA					20,65	16,00	27,2	35,00	24,00	10,80	1,74	—	20,80	35,30	43,80	—
DEVIAZIONE STANDARD					0,03	0,37	0,01	0,21	0,12	0,05	—	—	1,30	1,13	1,50	—
COEFFICIENTE DI VARIAZIONE %					0,1	2,1	0,1	0,6	0,5	0,4	—	—	6,2	3,2	3,3	—

PARAMETRI GEOMECCANICI									
N° Forante	Rit. Interno	Sond.	Camp.	Profondità	C' (kPa)	ϕ' (°)	$100\phi'$	Cu (kPa)	
1	H9-09	1	4	22,00	22,00	60,3	16,5	16,5	120
2	H10-09	2	4	24,70	25,10	70,5	18,7	0,34	125
3	H11-09	3	4	26,80	27,20	77,2	18,4	0,33	127
4	H12-09	4	4	28,80	29,20	67,2	19,2	0,31	121
VALORE MASSIMO					77,20	19,20	0,31	127,0	
VALORE MINIMO					60,30	16,50	0,33	120,0	
MEDIA					68,30	18,40	0,33	123,0	
MEDIANA					68,30	18,40	0,33	123,0	
DEVIAZIONE STANDARD					1,92	0,37	0,00	0,3	
COEFFICIENTE DI VARIAZIONE %					2,7	2,0	0,00	0,2	

Tabella 4a - Orizzonte geotecnico 4 - Risultati delle analisi fisico-meccaniche

riconoscere molto limitate fluttuazioni dei dati e, pertanto, si può assumere che il comportamento geomeccanico del terreno è governato dai valori medi dei parametri geotecnici. I valori caratteristici sono, quindi, una semplice stima cautelativa dei valori medi (K_{mean}). In particolare risultano bassissimi i valori del COV% della Coesione non drenata. Questi, come è noto, normalmente, per la natura stessa del parametro, sono abbastanza elevati, compresi fra 10-15% e 70%. Nel nostro caso la ridottissima variabilità può essere attribuita ad una grande omogeneità del volume considerato. Per questo orizzonte geotecnico, infine, secondo quanto detto nella parte teorica dell'articolo, si tratterebbe di RESISTENZE NON COMPENSATE (*terreno di base di un palo*) e, pertanto, *ad essere sollecitato sarebbe un modesto volume di terreno in cui prevalgono le resistenze locali*. Come si vede, invece, l'analisi attenta e combinata delle caratteristiche geotecniche e della natura dell'opera da realizzare conducono ad una scelta diversa. Come a dire che le rigide schematizzazioni vanno sempre e comunque ponderate alla luce delle risultanze del complesso di indagini effettuate e della conoscenza della geologia del sito, con l'assunzione del progettista geologo e geotecnico della responsabilità della scelta finale che, ovviamente, condizionerà, talvolta fortemente, i calcoli del progettista strutturista.

Densità naturale	$\gamma_{med} = \gamma_{sat} \cdot (1 - k \cdot s_{at})$	= 20,6	AN/m ³
Coesione (tensori efficaci)	$C'_{med} = C'_{sat} \cdot (1 - k \cdot s_{at})$	= 67,4	kPa
Tangente dell'Angolo di resistenza al taglio (tensori efficaci)	$\tan \phi'_{med} = \tan \phi'_{sat} \cdot (1 - k \cdot s_{at})$	= 0,3300	Angolo (°) 18,3
Coesione non drenata	$Cu_{med} = Cu_{sat} \cdot (1 - k \cdot s_{at})$	= 119	kPa

Tabella 4b - Orizzonte geotecnico 4 - Parametri geotecnici caratteristici

Nelle figure seguenti sono rappresentati graficamente tutti i valori di Coesione drenata (Fig. 8), Coesione non drenata (Fig. 9) ed Angolo di Resistenza al taglio (Fig. 10) per gli *Orizzonti geotecnici* individuati, insieme ai corrispondenti valori medi e ai valori caratteristici stimati.

Un'ultima rappresentazione grafica (Fig. 11) riguarda l'andamento delle curve sforzo-deformazione delle prove

E.L.L. (Espansione Laterale Libera) eseguite sui campioni degli Orizzonti geotecnici 1 e 4, cioè i livelli geotecnici *limite* dal punto di vista delle caratteristiche geomeccaniche. Nella Figura 11, inoltre, sono riportati i valori calcolati dei Moduli di Elasticità *Tangente*, *Secante* e a *Rottura* per i singoli campioni. L'analisi delle curve conferma: la variabilità dei campioni afferenti all'Orizzonte geotecnico 1, il sostanziale comportamento *plastico* dei campioni stessi e gli elevati valori dei Coefficienti di variazione % dei Moduli di elasticità; l'omogeneità dei campioni afferenti all'Orizzonte geotecnico 4, il sostanziale comportamento *rigido* dei campioni stessi e i bassissimi valori dei Coefficienti di variazione % dei Moduli di elasticità.

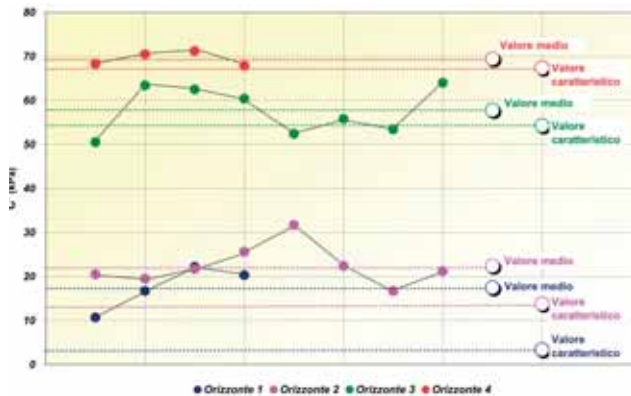


Figura 8 - Rappresentazione grafica dei valori di Coesione drenata per i 4 Orizzonti geotecnici

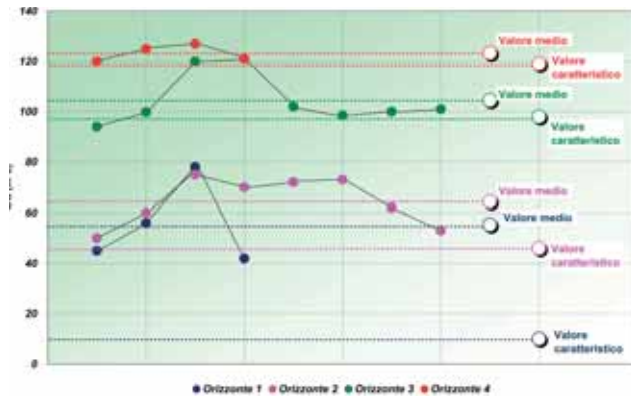


Figura 9 - Rappresentazione grafica dei valori di Coesione non drenata per i 4 Orizzonti geotecnici

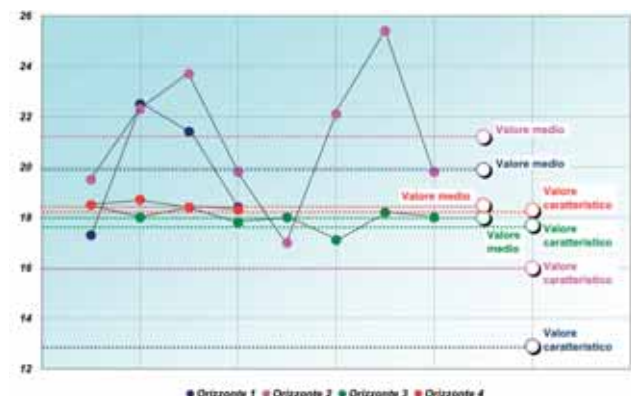
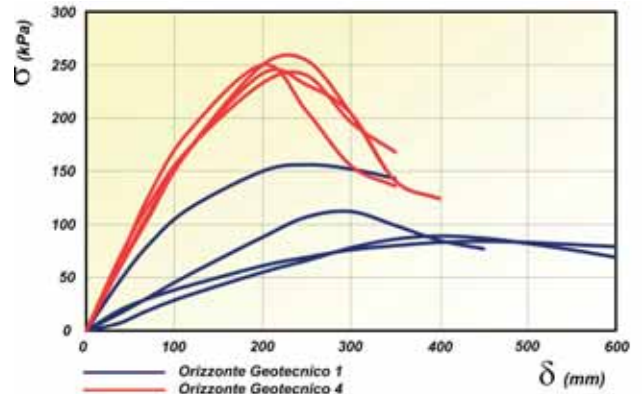


Figura 10 - Rappresentazione grafica dei valori dell'Angolo di resistenza al taglio (condizioni drenate) per i 4 Orizzonti geotecnici



Moduli di Elasticità (kPa)			
Orizzonte Geotecnico 1			
	Tangente	Secante	A rottura
S1-C1 prof. 1,00-1,40	1445	2553	1955
S2-C1 prof. 2,00-2,40	3316	3439	2841
S3-C1 prof. 3,70-4,10	9438	8697	4764
S4-C1 prof. 1,90-2,30	4430	2776	1425
Media	4657	4366	2746
Deviazione Standard	3417	2912	1467
Coefficiente di Variazione	73%	67%	53%

Orizzonte Geotecnico 4			
	Tangente	Secante	A rottura
S1-C6 prof. 22,50-23,00	13855	12756	7317
S2-C6 prof. 24,70-25,10	12501	13586	9528
S3-C6 prof. 26,80-27,20	13081	11570	7738
S4-C6 prof. 29,00-29,50	11726	11301	9219
Media	12791	12303	8451
Deviazione Standard	901	1063	1087
Coefficiente di Variazione	7%	9%	13%

Figura 11 - Rappresentazione grafica delle curve Sforzo-Deformazione relative alle Prove ad Espansione Laterale Libera eseguite sui campioni degli Orizzonti Geotecnici 1 e 4 e valori dei Moduli di Elasticità

LIMITI DI APPLICABILITÀ DELLA METODOLOGIA

Già si è detto circa il significato del *Coefficiente di Variazione COV%* quale misura della affidabilità della tendenza centrale di una serie di dati o, in maniera equivalente, della dispersione della componente fluttuante rispetto al valore medio del trend. Pertanto, di seguito si riporta una simulazione, con applicazione rispettiva del K_{mean} e del K_{low} per valori fissi della media aritmetica (X_{mean}), calcolata per una serie di dati da 2 a 15, per la *Coesione drenata* ($c'_{mean} = 12$ kPa). Sono stati calcolati, quindi, i valori del parametro caratteristico X_c per valori del COV% pro-

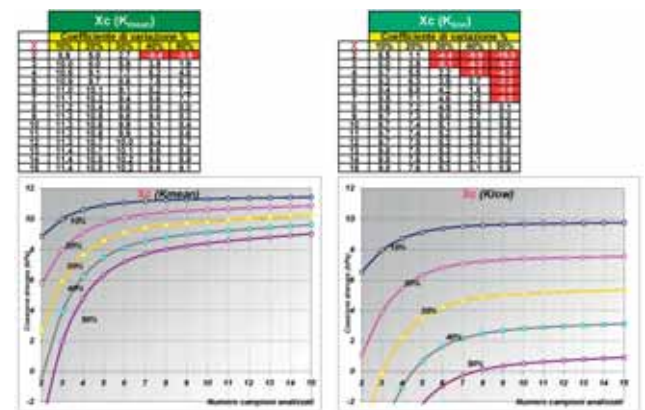


Figura 12 - Valori del parametro caratteristico X_c per Coesione drenata $mean = c'_{mean} = 12$ kPa

gressivamente maggiori, da 10% a 50%, mantenendo fisso, come detto, il valore della media aritmetica per il parametro c' . La rappresentazione, in forma tabellare e in forma grafica, permette di operare utili considerazioni sui limiti di applicabilità della metodologia.

Innanzitutto è evidente come, all'aumentare del numero di campioni analizzati, il valore del parametro caratteristico tende progressivamente ad avvicinarsi al valore medio (X_{mean}): questo, chiaramente, è tanto più evidente per l'ipotesi K_{mean} (**Caso a**). E' altrettanto evidente che, all'aumentare del Coefficiente di variazione COV%, i valori del parametro caratteristico si *deprimono* considerevolmente, soprattutto per l'ipotesi K_{low} (**Caso b**). Superato il 40% di COV%, per esempio, non ha senso una elaborazione in termini di K_{mean} basata su due campioni (cosa peraltro logica in ogni caso), o, superato il 30% del COV%, non ha senso una elaborazione in termini di K_{low} basata su tre campioni, o, superato il 50%, una elaborazione basata su sette campioni.

In buona sostanza, **si ribadisce la necessità di effettuare un'approfondita campagna geognostica per disporre di un numero significativo di campioni analizzati (... premiando la numerosità e la completezza degli accertamenti) e, qualora il Coefficiente di variazione dovesse superare la soglia del 30%-40%, di rivedere complessivamente l'individuazione del volume significativo e la conseguente attribuzione dei risultati delle analisi geotecniche allo stesso. Ovviamente tutto ciò non dovrà mai prescindere da attente ed accurate valutazioni di carattere geologico, oltre che geotecnico s.s.**

Bibliografia

E. Aiello (2010), "Dispense corso NTC 08", Ordine dei Geologi del Lazio, www.geologilazio.it

A. Di Bernardo (2009), "Valori caratteristici del terreno", Program Geo

Circolare 617/2009, "Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni - D.M. 14.01.2008 - Cap. 6 - Progettazione Geotecnica"

D.M. 14 gennaio 2008, "Norme Tecniche per le Costruzioni - Cap. 6 - Progettazione Geotecnica"

Frank R., Bauduin C., Driscoll R., Kavvas M., Krebs Ovesen N., Orr T., Schuppener B. (2004), "Designer's Guide to EN 1997-1 Eurocode 7: Geotechnical design-General rules", Thomas Telford Publishing

Luca "McCoy" - Geologo (2009), "Introduzione operativa al concetto dei valori caratteristici secondo l'Eurocodice 7 (norma europea prEN1997-1)", www.nuke.mccoy.it

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Bergamo (Commissione Geotecnica) - Università di Bergamo (Facoltà di Ingegneria) - Prof. Mario Manassero (Politecnico di Torino), Bergamo, 30 maggio 2008, "Corso d'aggiornamento Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni - D.M. 14 Maggio 2008", File di presentazione - www.ordineingegneri.bergamo.it/atti/geotecnica/008

Tanzini M. (2006), "Fondazioni - Caratterizzazione geotecnica, verifiche geotecniche, dimensionamento", Dario Flaccovio Editore, Palermo, 81-108

Vannucchi G., Uzielli M. (2004), "Variabilità geotecnica e affidabilità della sperimentazione", Atti del seminario sulla caratterizzazione geotecnica dei terreni in relazione a problemi di ingegneria civile, Firenze.