Procedura da adottare -

Valore caratteristico – EC7

- **Azioni (E)**

Per le **combinazioni** delle azioni si rimanda a quanto detto ampiamente in precedenza.

- **Resistenze (Rd) del sistema geotecnico**

Il valore di progetto della resistenza Rd può essere determinato in tre modi :

1.-in modo analitico con riferimento al ***valore caratteristico*** dei parametri geotecnici diviso per uno specifico coefficiente parziale γ_M, dal quale si ricava il ***valore di progetto,*** e tenendo conto dei coefficienti parziali γ_R relativi al tipo di opera.

Si determinano *analiticamente* i **valori caratteristici** (**fk)** dei parametri della resistenza al taglio del terreno, ***coesione e angolo di attrito interno,*** partendo dai **valori medi (fm)** .

Per **valore caratteristico**, **sec. L'EC7,** s'intende quel **valore al quale è associata una prefissata probabilità di non superamento**; assumere, per esempio, un valore caratteristico di 26° dell'angolo di attrito del terreno con una probabilità di non superamento del 5% (**frattile 5%**), vuol dire ipotizzare che ci sia una probabilità del cinque per cento che il valore *reale* dell'angolo di attrito sia inferiore a 26°.

IL VALORE CARATTERISTICO k

RAPPRESENTA LA SOGLIA AL DI SOTTO DELLA QUALE SI COLLOCA NON PIU' DEL 5% DEI VALORI DESUMIBILI DA UNA SERIE TEORICAMENTE ILLIMITATA DI PROVE

Ripreso da Ghersi (2004).

In prima approssimazione i **valori caratteristici** di c' e ϕ' sono determinabili con le seguenti relazioni:

(1)ϕ'**k = ϕ'm (1+**X.**Vϕ)**

(2)c'k = c'm (1+X.**Vc)**

dove:

ϕ'k = valore caratteristico dell'angolo di attrito interno;

c'k = valore caratteristico della coesione;

ϕ'm = valore medio dell'angolo di attrito;

c'm = valore medio della coesione;

Vϕ = coefficiente di variazione (COV) di ϕ', definito come il rapporto fra lo scarto quadratico medio e la media dei valori di ϕ';

Vc = coefficiente di variazione (COV) di c', definito come il rapporto fra lo scarto quadratico medio e la media dei valori di c';

X = parametro dipendente dalla legge di distribuzione della probabilità e dalla probabilità di non superamento adottata.

L'Eurocodice 7 fissa, per i parametri della resistenza al taglio, una probabilità di non superamento del 5%, alla quale corrisponde, per una distribuzione di tipo gaussiano, un valore di X uguale a –**1,645**.

Frattile %	**50**	**25**	**10**	**5**
X	**0**	**0,674**	**1,282**	**1,645**

Di conseguenza i valori caratteristici determinabili con le relazioni

(1) **$\phi'k = \phi'm\ (1+X.V\phi)$**

(2) **$c'k = c'm\ (1+X.Vc)$**

diventano:

(3) **$\phi'k = \phi'm\ (1- 1,645\ V\phi\ °)$**

(4) **$c'k = c'm\ (1- 1,645\ Vc\ °)$**

Un altro approccio propone valori di X f(n°.dati di ingresso), considerando anche se il volume interessato è ampio o ridotto.
Per approfondimenti sull'argomento:
-M.Tanzini: Fondazioni – Dario Flaccovio Editore, 2006.
-A.Di Bernardo: Valori caratteristici del terreno – Program Geo, 2009.

° $V\phi$, **Vc** = COV - coefficiente di variazione = rapporto fra lo scarto quadratico medio e la media dei valori

Ai valori caratteristici (fk) trovati si applicano dei coefficienti di sicurezza parziali γ_M (CP) in funzione dello stato limite considerato.

I valori di progetto (fd) di c' e ϕ' da adottare nel calcolo si ottengono, quindi, dividendo i valori caratteristici (fk) per un coefficiente riduttivo parziale M2 , secondo quanto indicato al punto 6.2.3, se si è scelto l'Appr.1 C2

Coefficienti di variazione delle principali grandezze geotecniche COV

Grandezza Geotecnica		Range	Valore consigliato	
			(Harr 1987)	Cherubini & Orr (1999)
Peso di volume			0,03	
Coesione			0,4	
Resistenza non drenata		0,1 – 0,9		0,55
Coesione efficace		0,1 – 0,7		0,45
Angolo di attrito	Argilla	0,1 – 0,5		0,30
	Limo	0,05 – 0,25	0,12	0,15
	Sabbia	0,05 – 0,15	0,07	0,10

Ripreso e modificato da V. Simeone (2008).

PHOON et al. (1995) hanno raccolto dalla letteratura geotecnica, e presentato sinteticamente, i risultati di studi inerenti alla stima dei coefficienti di variabilità intrinseca di:

-parametri di resistenza al taglio da indagini di laboratorio;

-parametri indici dei terreni da misure di laboratorio ed in situ.

Tabella 1. Variabilità intrinseca di alcuni parametri di resistenza al taglio da misure di laboratorio (da Phoon et al. 1995)

			valori		COV_w (%)	
proprietà	prova	terreni	interv.	media	interv.	media
c_u (kPa)	ELL	Grana fine	6-412	100	6-56	33
c_u (kPa)	TX-UU	Argille, limi	15-363	276	11-49	22
c_u (kPa)	TX-CIU	Argille	130-713	405	18-42	32
c_u (kPa)	non spec.	Argille	8-638	112	6-80	32
ϕ' (°)	non spec.	Sabbie	35-41	37.6	5-11	9
ϕ' (°)	non spec.	Argille, limi	9-33	15.3	10-50	21
ϕ' (°)	non spec.	Argille, limi	17-41	33.3	4-12	9
tan ϕ'	TX	Argille, limi	0.24-0.69	0.509	6-46	20
tan ϕ'	TD	Argille, limi	-	0.615	6-46	23
tan ϕ'	non spec.	Sabbie	0.65-0.92	0.744	5-14	9

Tabella 2. Variabilità intrinseca di alcuni parametri indici dei terreni da misure di laboratorio (da Phoon et al. 1995)

		valori		COV_w (%)	
proprietà	Terreni	interv.	media	interv.	media
w_n (%)	grana fine	13-105	29	7-46	18
w_L (%)	grana fine	27-89	51	7-39	18
w_P (%)	grana fine	14-27	22	6-34	16
I_P (%)	grana fine	12-44	25	9-57	29
I_L	Argille, limi	-	0.094	60-88	74
γ (kN/m^3)	grana fine	14-20	17.5	3-20	9
γ_d (kN/m^3)	grana fine	13-18	15.7	2-13	7
D_R (%)	sabbie	30-70	50	11-36	19
D_R (%)	sabbie	30-70	50	49-74	61

Tabella 3. Variabilità intrinseca di alcune misure in situ (da Phoon et al. 1995)

			valori		COV_w (%)	
prova	proprietà	terreni	interv.	media	interv.	media
CPT	q_c (MPa)	sabbie	0.4-29.2	4.10	10-81	38
CPT	q_c (MPa)	argille limose	0.5-2.1	1.59	5-40	27
CPT	q_T (MPa)	argille	0.4-2.6	1.32	2-17	8
VST	c_u (kPa)	argille	6-375	105	4-44	24
SPT	N_{SPT}	sabbie	7-74	35	19-62	54
SPT	N_{SPT}	argille, torbe	7-63	32	37-57	44
DMT	A (kPa)	sabbie, sabbie argillose	64-1335	512	20-53	33
DMT	A (kPa)	argille	119-455	358	12-32	20
DMT	B (kPa)	sabbie, sabbie argillose	346-2435	1337	13-59	37
DMT	B (kPa)	argille	502-876	690	12-38	20
DMT	E_D (MPa)	sabbie, sabbie argillose	9.4-46.1	25.4	9-92	50
DMT	E_D (MPa)	sabbie, limi	10.4-53.4	21.6	7-67	36
DMT	I_D	sabbie, sabbie argillose	0.8-8.4	2.85	16-130	53
DMT	I_D	sabbie, limi	2.1-5.4	3.89	8-48	30
DMT	K_D	sabbie, sabbie argillose	1.9-28.3	15.1	20-99	44
DMT	K_D	sabbie, limi	1.3-9.3	4.1	17-67	38
PMT	p_L (kPa)	sabbie	1617-3566	2284	23-50	40
PMT	p_L (kPa)	terreni coesivi	428-2779	1084	10-32	15
PMT	E_{PMT} (MPa)	sabbie	5.2-15.6	8.97	28-68	42

In Tabella 4 sono riportati i valori medi ed i valori di COV^w per proprietà misurate in laboratorio ed in situ, che possono essere assunti come riferimento nelle analisi di affidabilità.

Tabella 4. Valori orientativi della variabilità intrinseca di alcune misure (da Phoon et al. 1995)

prova	proprietà		terreni	valori medi	Intervallo COV_w (%)
laboratorio	c_u (ELL)	(kPa)	argille	10-400	20-55
laboratorio	c_u (TX-UU)	(kPa)	argille	10-350	10-30
laboratorio	c_u (CIUC)	(kPa)	argille	150-700	20-40
laboratorio	ϕ	(°)	argille, sabbie	20-40	5-15
CPT	q_T	(MN/m^2)	argille	0.5-2.5	<20
CPT	q_c	(MN/m^2)	argille	0.5-2.0	20-40
CPT	q_c	(MN/m^2)	sabbie	0.5-30.0	20-60
VST	c_u	(kN/m^2)	argille	5-400	10-40
SPT	N_{SPT}	(colpi/ft)	argille, sabbie	10-70	25-50
DMT	A	(kN/m^2)	argille	100-450	10-35
DMT	A	(kN/m^2)	sabbie	60-1300	20-50
DMT	B	(kN/m^2)	argille	500-880	10-35
DMT	B	(kN/m^2)	sabbie	350-2400	20-50
DMT	I_D		sabbie	1-8	20-60
DMT	K_D		sabbie	2-30	20-60
DMT	E_D	(MN/m^2)	sabbie	10-50	51-65
PMT	p_L	(kN/m^2)	argille	400-2800	10-35
PMT	p_L	(kN/m^2)	sabbie	1600-3500	20-50
PMT	E_{PMT}	(MN/m^2)	sabbie	5-15	15-65
laboratorio	w_n	(%)	argille, limi	13-100	8-30
laboratorio	w_L	(%)	argille, limi	30-90	6-30
laboratorio	w_P	(%)	argille, limi	15-25	6-30
laboratorio	I_P		argille, limi	10-40	(3-12%)/media
laboratorio	I_L		argille, limi	10	(3-12%)/media
laboratorio	γ, γ_d	(kN/m^3)	argille, limi	13-20	<10
laboratorio	D_R	(%)	sabbie	30-70	10-40

VARIABILITÀ DEI RISULTATI DI PROVE DI LABORATORIO

Nel caso delle indagini di laboratorio, l'errore di misura può essere stimato direttamente analizzando la variabilità dei risultati di prove condotte in condizioni, e su campioni di terreno, per quanto possibile uniformi.

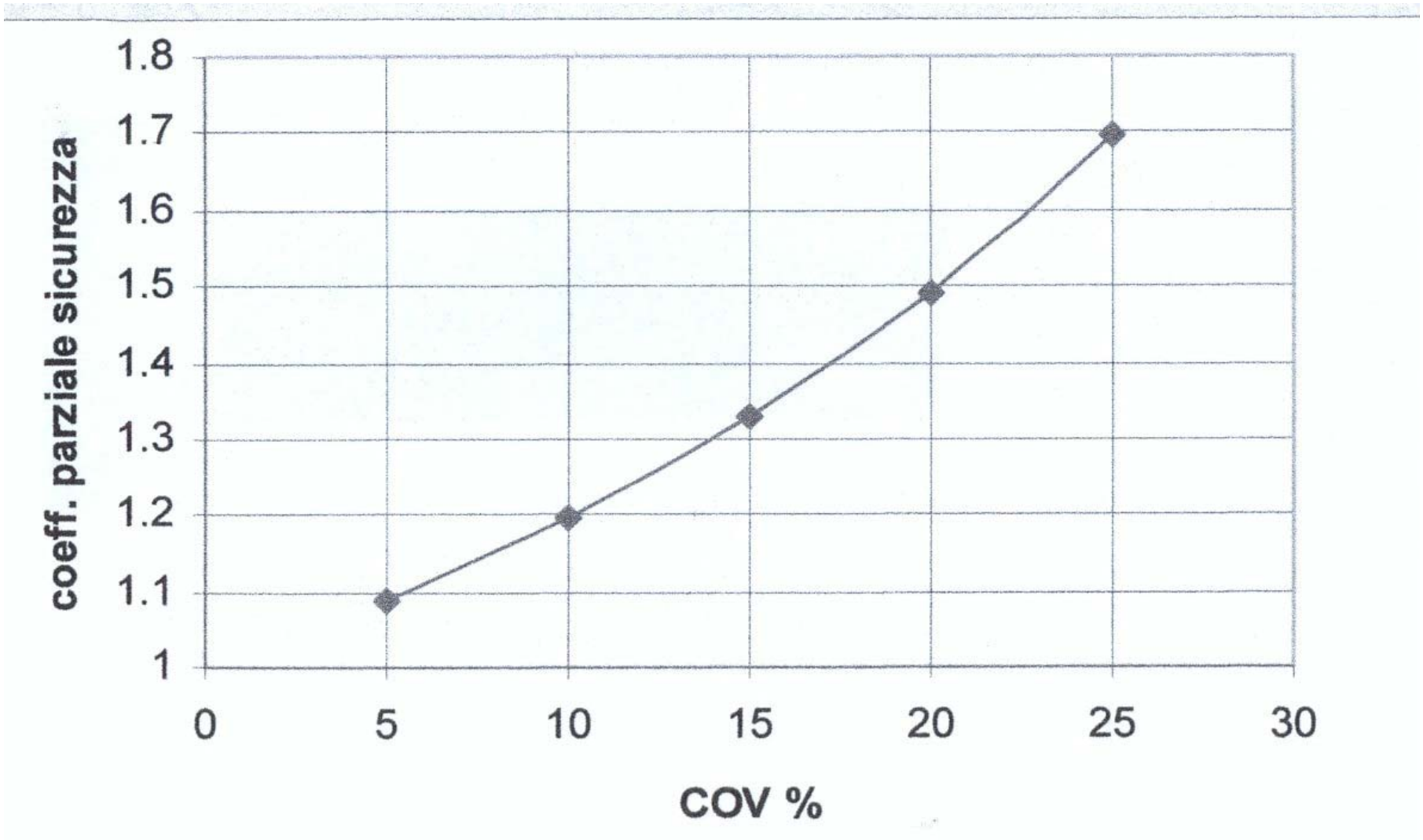
Alcuni risultati di programmi di indagini di laboratorio atti a quantificare l'errore di misura sono disponibili in letteratura (es. HAMMITT 1966; JOHNSTON 1969; SHERWOOD 1970; SINGH & LEE 1970; MINTY et al. 1979). Tuttavia, essi sono poco numerosi, e non trattano la suddivisione dell'errore di misura complessivo nelle sue componenti.

In Tabella 5 sono riportati i valori raccolti da PHOON et al. (1995) dai predetti studi, e relativi all'errore di misura di prove di laboratorio, espresso in termini di coefficiente di variazione COV^{eM}.

Tabella 6. Valori di riferimento (puntuali e mediati su un intervallo di 5.00 m) dei coefficienti di variazione di variabili di progetto (da Phoon & Kulhawy 1999b)

parametro	misura diretta	misura indiretta	correlazione	terreni	$COV_{\xi d}$ (%)	$COV_{\xi a}$ (%)
c_u	ELL	-	-	argille	20-55	10-40
c_u	TX-UU	-	-	argille	10-35	7-25
c_u	TX-CIU	-	-	argille	20-45	10-30
c_u	-	CPT	$c_u = \frac{q_c - \sigma_v}{N_k}$	argille	35-50	35-40
c_u	-	SPT	$\frac{c_u}{p_a} = 0.29 N_{SPT}^{0.72}$	argille	40-60	40-55
c_u	-	DMT	$\frac{c_u}{\sigma'_v} = 0.22(0.5K_D)^{1.25}$	argille	30-55	30-55
c_u		-	$\frac{c_u}{\sigma'_c} = 0.11 + 0.0037 I_P$	argille	30-55	-
ϕ' (°)	lab.		-	argille,sabbie	7-20	6-20
ϕ' (°)	-	CPT	$\phi' = 17.6 + 11.0 \log_{10}\left(\frac{q_c / p_a}{\sqrt{\sigma_v / p_a}}\right)$	sabbie	10-15	10
ϕ'_{cv} (°)	-	lab. (I_P)	$\sin\phi'_{cv} = 0.8 - 0.094 \ln(I_P)$	argille	15-20	15-20
K_0	SBPMT	-	-	argille	20-45	15-45
K_0	SBPMT	-	-	sabbie	25-55	20-55
K_0	-	DMT	$K_0 = 0.27 K_D$	argille	35-50	35-50
K_0	-	SPT	$K_0 = \frac{0.073 N_{SPT} \cdot p_a}{\sigma_v}$	argille	40-75	-
E_{PMT}	PMT	-	-	sabbie	20-70	15-70
E_D	DMT	-	-	sabbie	15-70	10-70
E_{PMT}	-	SPT	$\frac{E_{PMT}}{p_a} = 19 N_{SPT}^{0.63}$	argille	85-95	85-95
E_D	-	SPT	$\frac{E_D}{p_a} = 22 N_{SPT}^{0.82}$	limi	40-60	35-55

Coefficiente da applicare al valore medio in funzione del COV



Esempio di calcolo dei valori caratteristici (fk) con il frattile 5%

Valori medi (Vm) $\Rightarrow$ ***Valori Caratteristici(Vk)*** $\Rightarrow$ *Valori di Progetto (Vd)*

Dalle analisi di laboratorio su campioni indisturbati prelevati nell'ambito del volume significativo e/o da prove in situ si sono ricavati i seguenti valori dell'angolo d'attrito efficace ϕ' :

Dati disaggregati : 27°,25°,21°,23°,27°

La media è = 24.6°

La deviazione standard = 2.33

Per ottenere i valori caratteristici ***fk*** :

$\phi'k = \phi'm\ (1+X.V\phi)$

$\phi'k = \phi'm\ (1- 1{,}645\ V\phi)$

$\phi'K = 24.6° *[1-1.645 *(2{,}33/24.6)] = 20.77°$

Valore Caratteristico – Approccio Bayesiano

Cherubini e Orr (1999): xk = xm * (1 - CV / 2)

Forniscono indicazioni per valutare xm e CV per le tre diverse situazioni che possono presentarsi :

A - nessun valore di prove disponibile;

B - alcuni valori di prova disponibili (da laboratorio o prove in situ);

C - informazioni a priori con valori di prova disponibili

A

xm = (a + 4b + c) / 6

CV = (c – a) / (a + 4b + c)

a = valore minimo stimato

b = valore più probabile

c = valore massimo stimato

B

xm = Σxi / n	valore medio
sx = [Σ (xi - xm)2/ n-1]0,5	deviazione standard
CV = sx / xm	COV coeff.di variazione

C

xm3 = [xm2 + xm1/n * (sx2/sx1)2] / [1 + 1/n * (sx2/sx1)2]

sx3 = sx2 * [1 / n + (sx2/sx1)2]0,5

dove:

xm1 e sx1 sono il valor medio e la deviazione standard valutati a priori

xm2 e sx2 sono il valor medio e la deviazione standard ottenuti da valori di prova

xm3 e sx3 sono i valori aggiornati.

Valore caratteristico – NTC

"Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici sulle NTC":

A) Valori caratteristici circa uguali ai valori medi **Vk ~ Vm**

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 nello stato limite considerato è coinvolto un **elevato volume di terreno** (in ***fondazioni superficiali*** o in una ***frana*** il volume interessato dalla superficie di rottura è grande), **con possibile compensazione delle eterogeneità** o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidezza sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti.

Prossimi ai valori medi :
- **terreno di sedime di fondazioni superficiali**
- **pali per la portata laterale**
- **pendii(coltre di frana) e fronti di scavo**
- **opere di contenimento di notevole altezza**
- **struttura rigida**

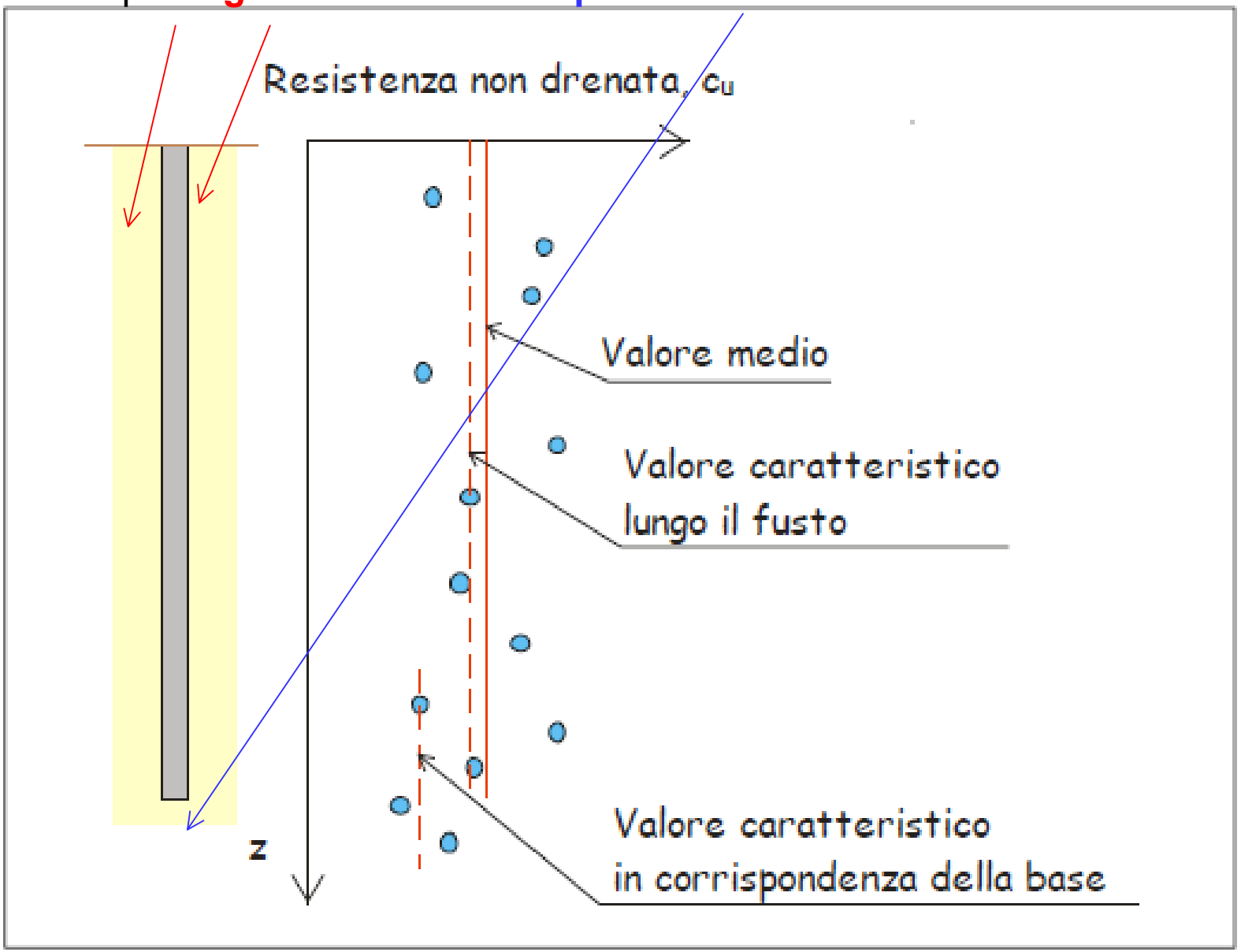
B) <u>Valori caratteristici circa uguali ai valori minimi</u>

Valori caratteristici prossimi ai <u>valori minimi</u> dei parametri geotecnici appaiono più giustificati nel caso in cui siano coinvolti **<u>modesti volumi di terreno</u>** (ad es. *terreno di base di un palo*, *verifica a scorrimento di un muro*), 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 rigidezza***. La scelta di valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici può essere dettata anche solo dalle caratteristiche dei terreni; (ad esempio, effetto delle discontinuità sul valore operativo della resistenza non drenata).

Una migliore approssimazione nella valutazione dei valori caratteristici può essere ottenuta operando le opportune medie dei valori dei parametri geotecnici nell'ambito di piccoli volumi di terreno, quando questi assumano importanza per lo stato limite considerato.

Prossimi ai valori minimi:
- ***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 H contenuta***
- ***struttura con insufficiente rigidezza***

Esempio di **grande volume** e di **piccolo volume** di terreno **- NTC 2008**



Valori caratteristici

VALORE MEDIO

Sul termine **“Valore medio”** è opportuno precisare che vi sono molteplici significati.

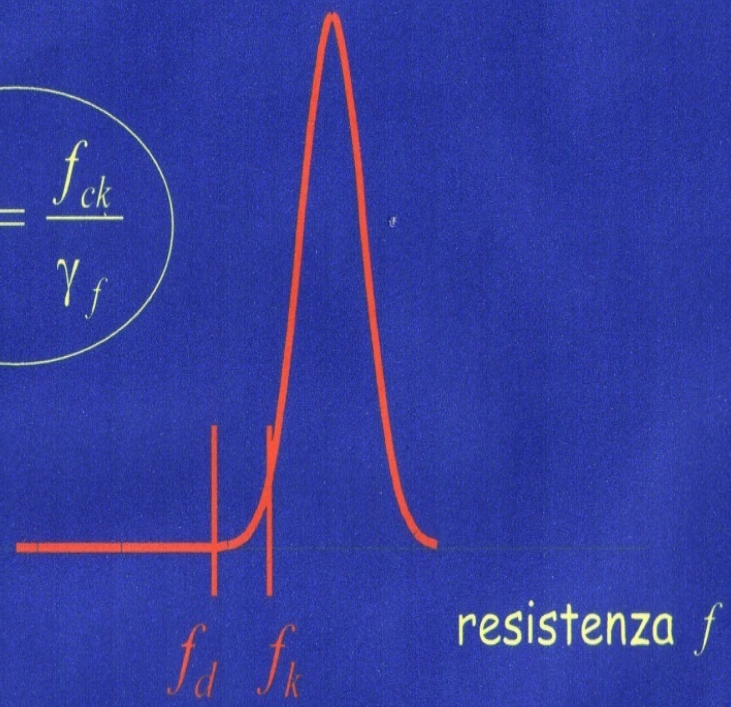
-**Valore medio statistico** è la media.

-**Valore medio spaziale** è la media dei valori relativi ad un determinato volume di terreno (ad esempio il cuneo di rottura o una superficie di scivolamento).Molti Stati Limite dipendono dal comportamento del terreno in detto volume o in detta superficie.
La scelta della media spaziale, pertanto, appare opportuna.

-**Valore medio probabilistico** è un valore al di sotto del quale si colloca il 50% dei valori. Se si ha un certo numero di dati la media probabilistica ha lo stesso valore della media statistica.

Valore [redacted] di progetto

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_f}$$



Al posto del valore caratteristico f_k (frattile 5%)

si usa come valore di calcolo f_d un frattile più basso (0.5%)

Convenzionalmente, si passa dal valore caratteristico al valore di calcolo applicando un opportuno coefficiente di sicurezza

Troviamo i **valori di progetto** :

Valori medi (Vm)⇒ Valori Caratteristici(Vk)⇒ Valori di Progetto (Vd)

In pratica, nei problemi connessi al raggiungimento dello

STATO LIMITE ULTIMO (SLU) del terreno, i **valori di progetto (Vd)** di **c'** e **ϕ'** si ottengono come segue, **se nella Combinazione scelta** è presente **M1 parametri caratteristici = parametri di progetto.**

Se nella combinazione vi è M2 :

DA1.C2 - Approccio 1 Combinazione 2 (**A2+M2+R2**) :

(5) ***tg ϕ' d* = *tg* ϕ'k/1,25**

(6) ***c'd* = c'k/1.25**

(7) ***cud* = cuk/1,4**

ϕ'd = angolo di attrito di progetto;

c'd = coesione drenata di progetto;

Dall'esempio precedente

ϕ'K = 24.6° *[1-1.645 *(2,33/24.6)] = 20.77°

ϕ'd = tg ϕ'K /1.25

ϕ'd = tg 20.77°/1.25 = 0.303

ϕ'd = arctg 0.303 = 16.87°

Se M1 ⇒ **parametri caratteristici = parametri di progetto**

Se M2 ⇒ **parametri caratteristici ≠ parametri di progetto**

Gli altri due modi per determinare il valore di progetto della resistenza Rd sono:

2.-In modo analitico, con riferimento a correlazioni con i risultati di ***prove in sito***, tenendo conto dei coefficienti parziali γ_R relativi al tipo di opera.

3. -Sulla base di ***misure dirette su prototipi***, tenendo conto dei coefficienti parziali γ_R relativi al tipo di opera.

CEDIMENTI Nei problemi connessi al raggiungimento dello **STATO LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)** del terreno, i **valori di progetto (fd)** di **c'** e **ϕ' sono uguali ai valori caratteristici (fk)**.

$$f_d = f_k$$

Assunti i carichi comunicati dallo strutturista per le condizioni di esercizio (SLE), si adottano i ***valori caratteristici* dei moduli di deformazione e/o elastici dei terreni (E_{edk}, E'k).**

Secondo alcuni Autori ai valori dei moduli di deformazione ed elastici Eed e E' non si applica il 5° percentile, bensì la *media* (Vannucchi G., 2009). Altri Autori scelgono semplicemente la *mediana*.* Infine, vi è un nutrito numero di Autori che applica il 5° percentile della media o della distribuzione.

In ogni caso,

$$E'_d = E'_k \qquad E_{edd} = E_{edk}$$

---

* in una distribuzione di dati ordinati in modo crescente, la mediana è il valore che si colloca a metà della sequenza: metà dei dati hanno valore maggiore, metà minore.

Check List

- Acquisizione parametri geotecnici (da valori nominali disaggregati a valori medi fm)
- Determinazione dei valori caratteristici fk,
- Scelta dell'approccio di progetto (insieme con lo strutturista): DA1 o DA2
-Determinazione dei valori di progetto fd, se richiesti dalla Combinazione scelta (M2)
-Tipo, Vita Nominale, Classe d'uso, Periodo di riferimento
- Identificazione categoria di sottosuolo e condizioni topografiche
-Acquisizione degli spettri di progetto
-Verifica di stabilità del sito, se su pendio o in prossimità
-Verifica liquefazione
- Lo strutturista fornisce al geotecnico le combinazioni di carico per le verifiche, il periodo fondamentale della struttura ed il fattore di struttura/duttilità* q
-Verifiche al collasso (statico-sismico), allo slittamento, alla stabilità globale; nell'ultimo caso Approccio DA1- Combinazione2, con spettro elastico T= 0 in condizioni sismiche.

-Consegna verifiche allo strutturista

* **Duttilità = rapporto tra spostamento massimo e spostamento al collasso**