PROGETTAZIONE GEOTECNICA

6. PROGETTAZIONE GEOTECNICA

Vengono presi in considerazione il progetto e la realizzazione:

– delle opere di fondazione;
– delle opere di sostegno;
– delle opere in sotterraneo;
– delle opere e manufatti di materiali sciolti naturali;
– dei fronti di scavo;
- del miglioramento e rinforzo dei terreni e degli ammassi rocciosi;
- del consolidamento dei terreni interessanti opere esistenti, nonché la valutazione della sicurezza dei pendii e la fattibilità di opere che hanno riflessi su grandi aree.

Le scelte progettuali devono tener conto delle prestazioni attese delle opere, dei caratteri geologici e delle condizioni ambientali.

Il progetto delle opere e dei sistemi geotecnici si articola nelle seguenti fasi:

1 caratterizzazione e modellazione geologica del sito (Rel.Geol.);

2 scelta del tipo di opera o d'intervento e programmazione delle indagini geotecniche (strutturista e geologo in Rel.Geol.);

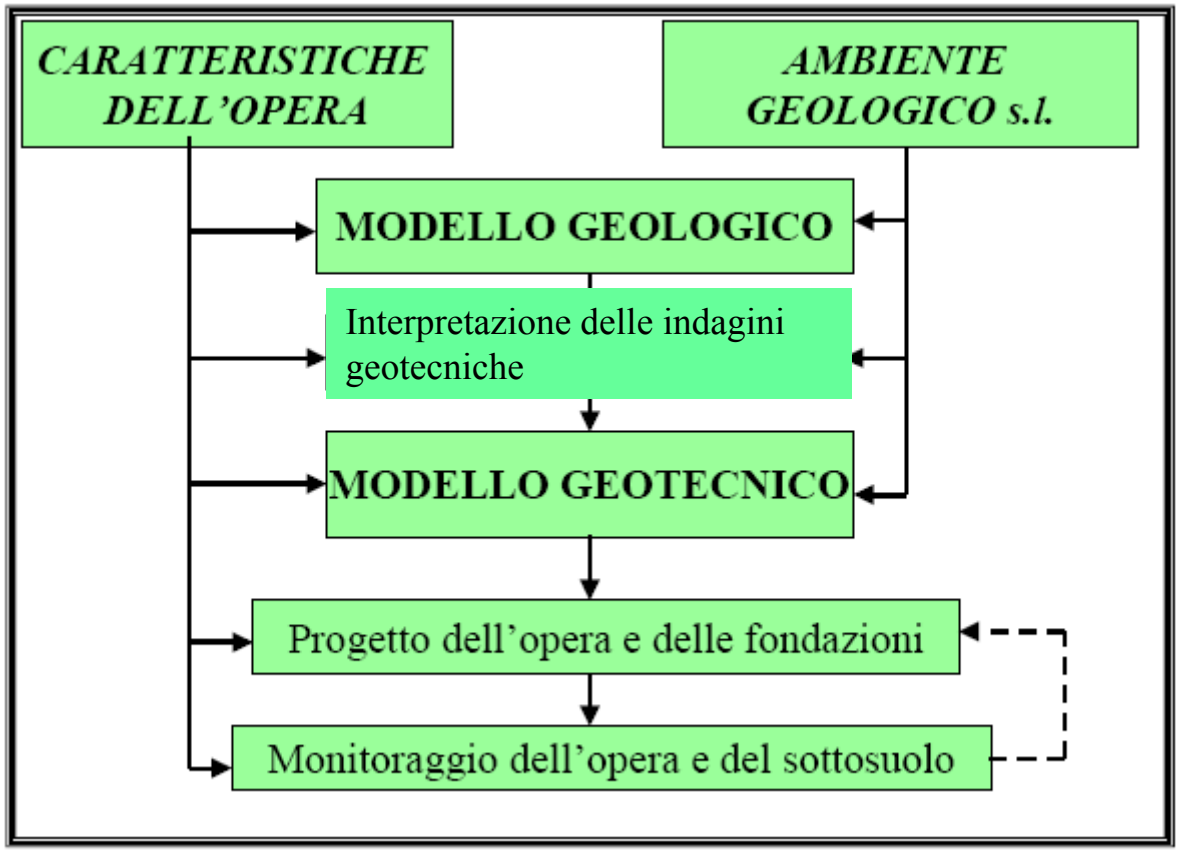
3 caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni e delle rocce e definizione dei modelli geotecnici di sottosuolo(1^parte in R.Geol.);

4 descrizione delle fasi e delle modalità costruttive;

5 verifiche della sicurezza e delle prestazioni;

6 piani di controllo e monitoraggio.

SEQUENZA PROGETTUALE ED OPERATIVA



Ripreso da A.Cancelli, 2006 e modificato

6.2.1 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA

La caratterizzazione e la **modellazione** geologica del sito consistono nella ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio.

In funzione del tipo di opera o di intervento e della complessità del contesto geologico, si dovranno realizzare specifiche indagini finalizzate alla documentata ricostruzione del modello geologico.

Esso deve essere sviluppato in modo da costituire utile elemento di riferimento per il progettista (geol.geotecnico o ing.geotecnico e strutturista) per inquadrare i problemi geotecnici e per definire il programma delle indagini geotecniche. (Queste possono essere mutuate dall'indagine geologica, a maggior ragione se il geologo si occupa della geotecnica, o rappresentano una integrazione).

Metodi e risultati delle indagini devono essere esaurientemente esposti e commentati in una **relazione geologica** che è un **documento progettuale distinto da quello geotecnico.**

Per la progettazione delle opere, le **Norme Tecniche per le Costruzioni** (nella forma di *testo unitario* e non unico), emanate con D.M. 14/01/08, **riguardano unicamente gli aspetti connessi alla sicurezza strutturale**.

NTC → SICUREZZA STRUTTURALE

Non bisogna, quindi, confondere il

"progetto strutturale",

che deve ottemperare ai requisiti definiti dalle NTC, con il

"progetto dell'opera" (vedi DPR 246/93)

che ***deve soddisfare tutti i requisiti essenziali applicabili e quindi deve tenere conto anche degli altri adempimenti prescritti da altre norme di carattere nazionale e locale*** **vigenti.**

Insomma, non si deve correre il rischio di pensare che le risposte progettuali alle sole NTC possano essere esaustive.

Questo vale anche per la **Relazione Geologica** che, pur tenendo conto che le NTC per la progettazione delle opere riguardano unicamente gli aspetti connessi alla sicurezza strutturale, **deve contenere gli adempimenti previsti e/o prescritti da altre norme vigenti**, poiché se dovesse adempiere solo a quanto indicato dalle NTC sarebbe palesemente insufficiente.

Aspetti da analizzare:

-Unità geologiche, litologiche e strutturali (a scala territoriale)
- Storia geologica del territorio
- Forme del terreno e processi geomorfici (attivi, inattivi)
- Rischi geologici, naturali e indotti (sismico–vulcanico – movimenti verticali del suolo –movimenti di versante – erosioni –rischio "idrogeologico" s.l. -inquinamenti)
- Idrogeologia (circolazione idrica, in superficie e in profondità)
- Rilevamento geologico-tecnico e geomeccanico
- Definizione delle unità litotecniche
- Vincoli (Vincolo Idrogeologico, P.A.I., P.T.C.P.)
- Pericolosità e Fattibilità del Piano Regolatore
-Aspetti geodinamici e sismicità
-Caratterizzazione delle unità litotecniche individuate
- Terre e rocce da scavo *

Modello geologico

Finalità e grado di definizione differenziati a seconda della fase progettuale (con riferimento alla normativa nazionale).
Relazione geologica come "parte integrante del progetto" in ciascuna fase progettuale (generalmente le fasi si riferiscono a progettazione per enti pubblici):

1) PROGETTO PRELIMINARE
⇒ documentazione della prefattibilità ambientale dell'opera, con indagini geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche preliminari
2) PROGETTO DEFINITIVO
⇒ definizione del "livello di pericolosità geologica"e del "comportamento"del sito, "in assenza e in presenza di opere", con indagini e prove geognostiche finalizzate al problema specifico
3) PROGETTO ESECUTIVO
⇒ illustrazione delle "problematiche esaminate"e delle "verifiche analitiche in sede di progettazione esecutiva"

Elaborazione del "Modello geologico"

mediante:

- Analisi della documentazione (pubblicata, inedita)
- Rilevamento geologico (litologie, strutture; eventuali strutture tettoniche attive)
- Rilevamento geomorfologico (processi geomorfici; movimenti franosi e loro attività)
- Rilevamento geologico-tecnico e geomeccanico in superficie
- Indagini geognostiche in profondità
- Indagini geofisiche (in superficie, in foro di sondaggio)
- Definizione delle unità litotecniche (eventuali litologie suscettibili di particolari problematiche a seguito di evento sismico)
- Definizione del quadro idrogeologico
- Verifiche di stabilità dei versanti (Le NTC le demandano alla Relazione geotecnica, ma nel contempo (C.6.3.2.) richiedono al geologo una analisi geomorfologica quantitativa che definisca natura, caratteristiche e grandezza dei fenomeni gravitativi interessanti il pendio e le aree contigue e la loro evoluzione temporale).

• Aspetti geodinamici - Sismicità

Aspetti da considerare nell'approccio ai problemi indotti dalla sismicità del territorio in cui è prevista l'opera:

- inquadramento geodinamico del territorio;
- origine dei terremoti;
- pericolosità sismica(anche da Piano Strutturale);
- azioni sismiche;
- inquadramento normativo;
- inquadramento progettuale;
- risposta sismica locale ed effetti di sito;
- risultati delle indagini geofisiche.

Documentazione geologica (s.l.) idonea per valutare gli effetti di sito e per gli studi di "Microzonazione sismica":

•nelle unità litostratigrafiche, variazioni litologiche (sia verticali che laterali,in particolare nelle coperture), grado di alterazione;

•negli ammassi rocciosi, elementi strutturali,discontinuità (faglie e fratture, di differente importanza e ordine di grandezza – in particolare se con segni di attività recente);

•elementi idrogeologici (sorgenti e venute idriche, ristagni e zone paludose); schema della circolazione idrica (superficiale e sotterranea) e relativo comportamento nel tempo (stagionale);

•elementi geomorfologici (movimenti di pendio; processi di erosione, nei versanti e lungo i corsi d'acqua; accumuli di detriti; Cavità sotterranee; eventuali strutture con attività neotettonica);

•elementi antropici di interesse per lo specifico problema in esame (ad esempio oleodotti, gasdotti, acquedotti, fognature, pozzi, grandi scavi, rilevati, discariche, ecc.);

•eventuali indagini geologiche, geofisiche e geotecniche pregresse.

In particolare, ***nei rilevamenti geologici finalizzati all'elaborazione di carte litologico-tecniche:***

•nei litotipi lapidei, oltre alle consuete informazioni, si devono acquisire ulteriori dati, mediante rilievi geomeccanici, prove specifiche in situ (anche manuali e con attrezzature portatili) e se necessario anche con prove in laboratorio;

•nelle terre di copertura, si devono indicare le principali proprietà tessiturali (dimensioni massime, forma e grado di arrotondamento dei clasti, presenza di frazione fine e sua importanza relativa nei confronti dei clasti, eventuale plasticità delle terre coesive), grado di addensamento o di consistenza relativa, eventuale grado di cementazione: il tutto sulla base di rilievi in fronti di scavo, eventuali prove sommarie in situ e se necessario anche con prove in laboratorio.

Nella **Relazione Geologica** si deve provvedere alla suddivisione o raggruppamento delle diverse unità geologiche, già classificate in sintemi e sub-sintemi nella cartografia ufficiale, partendo dal basso in:

■**UNITA' DEL SUBSTRATO LAPIDEO**

-rocce vere e proprie ("r. dure"), sia massicce che stratificate;

■ **UNITA' DEI MATERIALI A COMPORTAMENTO INTERMEDIO**

-materiali a comportamento intermedio tra le rocce propriamente dette e le terre (rocce deboli e unità complesse);

■**UNITA' DELLE TERRE DI COPERTURA**

(t. coesive, t. non coesive, t. organiche, eventuali materiali di riporto e rifiuti).

Vediamo le Unità nel dettaglio :

⇒**UNITA' DEL SUBSTRATO LAPIDEO** (Rocce pr.d):

A)materiale lapideo formato da un unico litòtipo di elevata resistenza, ***non stratificato*** **o** ***in grosse bancate*** (ad es. graniti, calcari massicci, ecc.);

B)materiale lapideo formato da un unico litòtipo (ad es. calcari, arenarie, marne, ecc.), ***stratificato,o da alternanze di livelli*** lapidei e di livelli pelitici (flysch); divisibile in sottounità, a seconda dello spessore degli strati, dei rapporti fra le diverse litologie, del grado di ordine o disordine strutturale (fino ad una struttura "caotica"vera e propria);

⇒**UNITA' DEI MATERIALI A COMPORTAMENTO INTERMEDIO**:

C)rocce e rocce deboli a tessitura grossolana, formate da materiali granulari debolmente cementati o da rocce degradate per alterazione; divisibile in sottounità, a seconda della composizione granulometrica prevalente (ghiaia o sabbia);

D) rocce deboli a tessitura fine e ad elevata consistenza (argilliti, siltiti, marne); divisibile in sottounità, a seconda della frazione fine prevalente (limo o argilla);

⇒**UNITA' DELLE TERRE DI COPERTURA**:

E) terre granulari, non cementate o debolmente cementate; a sua volta divisibile in sottounità, a seconda della composizione granulometrica prevalente;

F) terre coesive a medio-bassa consistenza; divisibile in sottounità, a seconda della frazione fine prevalente (limo o argilla) e della eventuale presenza di frazione organica.

Problemi e difficoltà nell'elaborazione del modello geologico (vanno evidenziati in relazione)

Dipendono da:

-variabilità del mezzo geologico: natura litologica;

-assetto: stratigrafico e strutturale;

-variazioni all'interno di ciascuna litozona: laterali, verticali;

-variazioni nel tempo delle proprietà dei materiali geologici;

-definizione del grado di attività: degli elementi tettonici fragili (faglie); dei processi geomorfici nei pendii.

La Relazione Geologica riporta i parametri nominali dei terreni, i dati disaggregati necessari per la geotecnica, i valori medi e gli aspetti sismici di dettaglio : Categoria di sottosuolo da V_{S30}, a_{max}, K_h, K_v , khi, Liquefazione (v. 7.11.3.4.2). Sebbene questi aspetti siano demandati nelle NTC alla **Relazione geotecnica** e alla **Relazione sulla modellazione sismica** (C10.1), devono trovare posto nella relazione geologica quale naturale derivazione dalla campagna geognostica e dalle prove sismiche effettuate nella "fase geologica", anche perché **indispensabili per il superamento del vincolo idrogeologico e degli altri sportelli di controllo** (Commissione edilizia, P.A.I., PTCP). Si può predisporre un elaborato " **Relazione geologica e Relazione sulla modellazione sismica"**, nel quale la modellazione sismica è contenuta in uno specifico paragrafo.

Come si rappresenta il modello geologico:

■Cartografia:

•carta geologica con sezioni;

•carta litotecnica, con sezioni (suddivisione tra substrato e coperture);

• *caratterizzazione fisico-meccanica*;

•carta geomorfologica(grado di attività);

•carta idrogeologica ;

•carta di sintesi (situazioni che possono produrre effetti locali di instabilità e di amplificazione).

Allegati

6.2.2 INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA

Le indagini geotecniche devono essere programmate in funzione del tipo di opera e/o di intervento e devono riguardare il **volume significativo °**, e devono permettere la definizione dei modelli geotecnici di sottosuolo necessari alla progettazione.

I valori caratteristici delle grandezze fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni devono essere ottenuti mediante specifiche prove di laboratorio su campioni indisturbati di terreno e attraverso l'interpretazione dei risultati di prove e misure in sito.

Per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato (v.Parte seconda : Applicazioni pratiche).

° parte di sottosuolo influenzabile dalla costruzione di un'opera o che può influenzare il comportamento dell'opera stessa

Modello geotecnico

Per **modello geotecnico** si intende uno **schema rappresentativo delle condizioni stratigrafiche, del regime delle pressioni interstiziali e della caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni e delle rocce compresi nel volume significativo**, finalizzato all'analisi quantitativa di uno specifico problema geotecnico

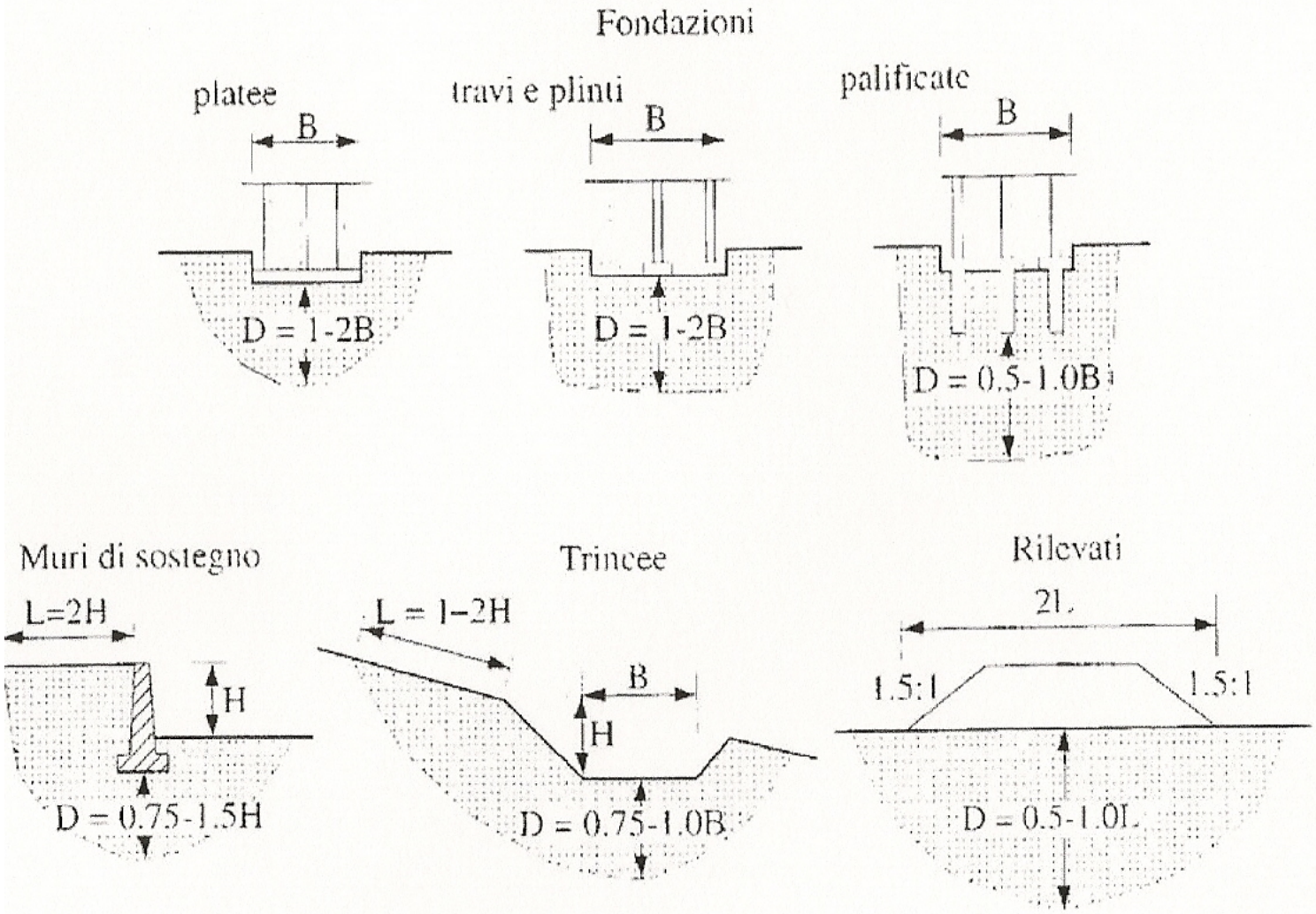
È responsabilità del progettista (geotecnico)° la definizione del piano delle indagini, la caratterizzazione e la modellazione geotecnica

Nel caso di costruzioni o di interventi di modesta rilevanza, che ricadano in zone ben conosciute dal punto di vista geotecnico, la progettazione può essere basata sull'esperienza e sulle conoscenze disponibili, ferma restando la piena responsabilità del progettista su ipotesi e scelte progettuali.

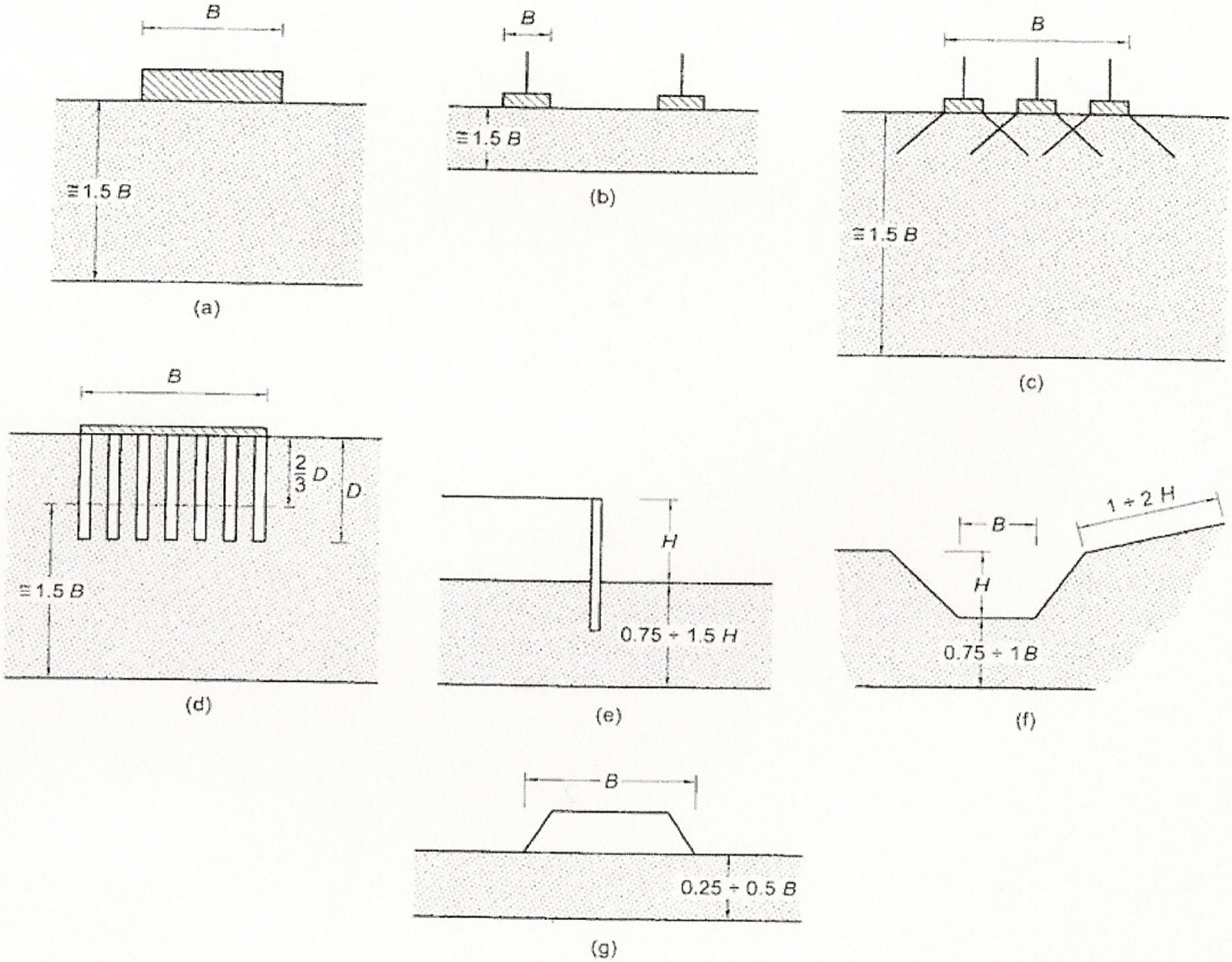
° Per la definizione di **progettista** si rimanda al primo capitolo di questa monografia e al D.P.R. 328/2001, art.41, comma 1, lettera a.

INDAGINI E PROVE GEOTECNICHE

Influenza della tipologia di opera sul volume significativo:
* in fase di programma delle indagini;
*in fase di elaborazione del modello geologico (e di quello idrogeologico);
* in fase di elaborazione del modello geotecnico.
A sua volta,
Influenza del volume significativo:
*sulla scelta dei metodi d'indagine geognostica maggiormente appropriati alla situazione geologico-tecnica ed al tipo di opera da realizzare;
* sul grado di dettaglio e sulla significatività del modello geotecnico adottato per la progettazione.



D = volume significativo


B
≅1.5 B
(a)
B
≅1.5 B
(b)
B
≅1.5 B
(c)
B
2/3 D
D
≅1.5 B
(d)
H
0.75 ÷ 1.5 H
(e)
1 ÷ 2 H
B
H
0.75 ÷ 1 B
(f)
B
0.25 ÷ 0.5 B
(g)

Il modello geotecnico

è finalizzato a fornire tutti i dati geotecnici necessari per il progetto e le verifiche delle fondazioni, nonché per l'impostazione delle successive attività di monitoraggio.

Basi per il modello geotecnico:

♦Fonti bibliografiche

♦Documentazione tecnica inedita

♦Modello geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismicità sito-specifica

♦Requisiti prestazionali dell'opera

♦Tipo di costruzione (1 ÷3)

♦Classe d'Uso(Classe I ÷IV) e Periodo di riferimento V_R

♦Risultati delle diverse campagne d'indagine, in situ e in laboratorio

♦"Storia" del sito (tenendo conto anche delle precedenti attività antropiche)

Progettazione geotecnica

Sondaggi con campionamento

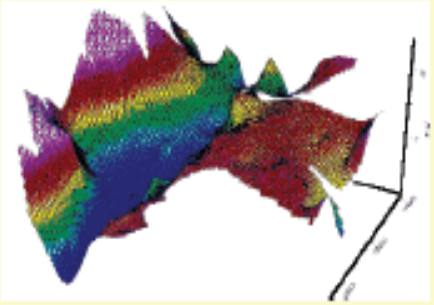
Prove di laboratorio

Modello geotecnico

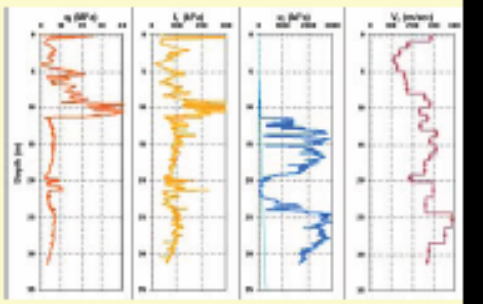
Valutazione dei parametri costitutivi

D_{50}, U, γ, e_0, OCR, K_0, ν, E, ϕ', c', k, c_v, ...

Indagini geofisiche

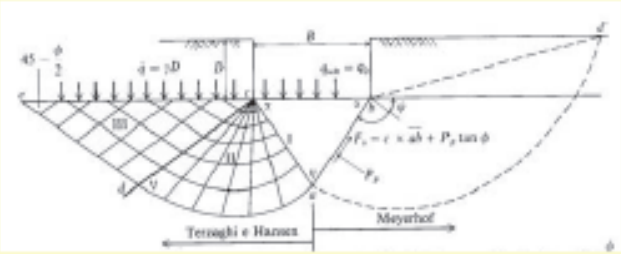


Prove in posto

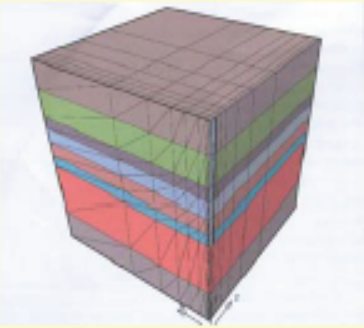


Verifiche della sicurezza e delle prestazioni

Metodi analitici



Metodi numerici



Metodo Osservazionale e/o Monitoraggio

Ripresa da Simonini, 2008

NELL'EC7 E NELLE NTC 2008 VIENE

RICONOSCIUTA LA POSSIBILITA' DI RICORRERE AL METODO OSSERVAZIONALE IN TUTTI QUEI CASI IN CUI E' DIFFICILE FORMULARE PREVISIONI SUL PROFILO GEOLOGICO-GEOTECNICO E SUL COMPORTAMENTO GEOTECNICO DEI TERRENI E DELLE ROCCE CHE INTERAGISCONO CON LE OPERE

Nell'applicazione del MO devono essere soddisfatti i seguenti requisiti:

- devono essere scelte alcune grandezze rappresentative del complesso manufatto-terreno e fissati i limiti di accettabilità di tali grandezze;
- si deve dimostrare che la soluzione prescelta sia accettabile in rapporto a tali limiti;
- devono essere previste soluzioni alternative con i relativi costi;
- deve essere predisposto un sistema di monitoraggio che consenta di adottare tempestivamente una delle soluzioni alternative proposte, nel caso in cui i limiti prima definiti siano raggiunti.

Contenuti della relazione geotecnica:

♦Criteri per l'impostazione delle indagini, in situ e in laboratorio;
♦Interpretazione critica dei risultati delle indagini;
♦Modellazione del terreno interagente con l'opera, con riferimento sia al/i tipo/i di materiale, sia al tipo di problema ed alle caratteristiche dell'opera;
♦Definizione dei parametri numerici, per ciascuna delle unità litotecniche formanti il sottosuolo e per analisi:
a) in campo statico;
b) in campo dinamico.

PROBLEMI GEOTECNICI:

=>definizione preliminare del modello geologico-tecnico del volume di sottosuolo interagente con l'opera da realizzare ("volume significativo"–A.G.I., 1977);
=> determinazione delle proprietà geotecniche/geomeccaniche iniziali per i diversi litotipi e le diverse zone di omogeneità(con riferimento al volume significativo);
=>necessità di evitare fenomeni di instabilità dell'equilibrio o di collasso strutturale nei terreni oggetto dell'intervento (es. "liquefazione"di terreni sabbiosi sciolti);
=>necessità di evitare danni a strutture, infrastrutture o servizi in aree adiacenti.

PROBLEMI IDROGEOLOGICI:

=>definizione preliminare del modello idrogeologico del volume di sottosuolo interagente con l'opera da realizzare ("volume significativo"–A.G.I., 1977);

=>determinazione delle proprietà idrogeologiche iniziali per i diversi litòtipi e le diverse zone di omogeneità (con riferimento al volume significativo);

=>necessità di evitare, con interventi interni alla fascia di rispetto di un pozzo di prelievo per uso idropotabile, modifiche temporanee o permanenti al regime, alla quantità e qualità delle risorse idriche.

Problemi e difficoltà nell'elaborazione del modello

-Il mezzo geologico come sistema plurifase:
solido + liquido + gas; terreni saturi e non saturi; conseguenze sul comportamento meccanico.
-Variabilità del mezzo geologico:
natura litologica; assetto: stratigrafico e strutturale; variazioni all'interno di ciascuna litozona: laterali, verticali; variazioni nel tempo.
Per problemi in zona sismica:
necessità di estensione delle indagini sul sottosuolo ad un volume significativo superiore a quello normalmente considerato (ad es. per problemi di liquefazione).

Ricostruzione del modello geotecnico

Valutare se sono stati osservati alcuni principi :

•pianificare le indagini per fasi, se necessario ed opportuno, ricorrendo eventualmente a successive integrazioni;

•riportare tutte le informazioni di base sulle quali si fonda l'interpretazione;

•considerare tutti i dati disponibili (previa analisi del loro grado di attendibilità); trascurare alcuni dati potrebbe condurre a risultati fuorvianti;

•rappresentare il modello anche sotto forma di sezioni (in scala non deformata!);

•evitare l'eccessiva semplificazione

Il MODELLO deve adattarsi alla REALTA'

non il contrario

6.2.3 VERIFICHE DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI

6.2.3.1 Verifiche nei confronti degli stati limite ultimi (SLU)

Per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione

$$E_d \leq R_d \qquad (6.2.1)$$

dove Ed è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione = Domanda
e Rd è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico (terreno)= Capacità

La verifica di detta condizione deve essere effettuata impiegando diverse **combinazioni di gruppi di coefficienti parziali**, rispettivamente definiti

-per le **azioni (A1 e A2)**
-per i **parametri geotecnici (M1 e M2)**
-per le **resistenze (R1, R2 e R3).**

***I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali* sono scelti nell'ambito di <u>due approcci progettuali distinti e alternativi</u>.**

(Approccio 1)

Nel primo approccio progettuale sono previste <u>due diverse Combinazioni di gruppi di coefficienti:</u>

-La Combinazione 1 (DA1.1) è generalmente più severa nei confronti del dimensionamento strutturale (STR) delle opere a contatto con il terreno.

A1+M1+R1 ⇒ (dimensionamento STRutturale)

-La Combinazione 2 (DA1.2) è generalmente più severa nei riguardi del dimensionamento geotecnico (GEO).

A2+M2+R2 ⇒ (dimensionamento GEOtecnico)

(Approccio 2)

Nel secondo approccio progettuale (A2) è prevista <u>un'unica combinazione di gruppi di coefficienti</u>, da adottare sia nelle verifiche strutturali (STR), sia nelle verifiche geotecniche(GEO). In sostanza si effettua una sola verifica applicando i CP contemporaneamente alle azioni o agli effetti, e alle resistenze finali, *assumendo* i <u>*valori caratteristici*</u> dei parametri geotecnici e <u>*non quelli di progetto*</u>. Infatti abbiamo M1 = 1.

A1+M1+R3 (GEO)

[R1 (STR)]

Le ***Combinazioni*** sono formate da gruppi di ***coefficienti parziali*** γ

con ***A = Azioni*** γF

M = resistenza dei materiali (terreno) γM

R = Resistenza globale del sistema γR

APPROCCIO 1 (DA1)		***APPROCCIO 2 (DA2)***
⇓	⇓	⇓
Combinazione 1	***Combinazione 2***	***Combinazione 1 o Unica***
(A1+M1+R1)	**(A2+M2+R2)**	**(A1+M1+R3)**
(STR)	**(GEO)**	**(STR + GEO)**
		R1

A

(A + M + R)

6.2.3.1.1 Azioni (= Forze o deformazioni imposte, applicate alla struttura)

I coefficienti parziali γF relativi alle azioni sono indicati nella Tab. 6.2.I. e ad essi deve essere fatto riferimento. Si deve comunque intendere che il terreno e l'acqua costituiscono carichi permanenti (strutturali) quando, nella modellazione utilizzata, contribuiscono al comportamento dell'opera con le loro caratteristiche di peso, resistenza e rigidezza.

Tab. 2.6.I.

		Coefficiente γ_F	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti G1	favorevoli sfavorevoli	γ_{G1}	0,9 1,1	1,0 1,3	1,0 1,0
Carichi permanenti non strutturali[1] G2	favorevoli sfavorevoli	γ_{G2}	0,0 1,5	0,0 1,5	0,0 1,3
Carichi variabili Qk	favorevoli sfavorevoli	γ_{Qi}	0,0 1,5	0,0 1,5	0,0 1,3

[1] Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

(A + **M** + R)

6.2.3.1.2 Resistenze (= capacità di sopportare le azioni senza giungere a rottura)

Il valore di progetto della resistenza Rd (ad es. **qlim**) può essere determinato:

a) **in modo analitico**, *con riferimento al* ***valore caratteristico*** *dei* ***parametri geotecnici del terreno***, ***diviso per il valore del coefficiente parziale*** γ_M **(M)** specificato nella successiva Tab. 6.2.II e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali γ_R **(R)** specificati nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;

b) **in modo analitico**, *con riferimento a correlazioni con i risultati di* ***prove in sito***, tenendo conto dei coefficienti parziali γ_R riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;

c) **sulla base di misure dirette su prototipi**, tenendo conto dei coefficienti parziali γ_R riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera.

M

(A + **M** + R)

Tabella 6.2.II – *Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno*

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0
Resistenza alla compressione uniassiale	qu	γqu	1,0	1,6

Per gli ammassi rocciosi e per i terreni a struttura complessa, nella valutazione della ***resistenza caratteristica*** occorre tener conto della natura e delle caratteristiche geometriche e di resistenza delle discontinuità strutturali.

R Resistenza globale del sistema

(A + M + **R**)

FONDAZIONI SUPERFICIALI

VERIFICA	(R1) γ_R	(R2) γ_R	(R3) γ_R
Stabilità globale	-	1,1	-
Capacità portante	1,0	1,8	2,3
Scorrimento	1,0	1,1	1,1

PALI DI FONDAZIONE

	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
RESISTENZA	(R1) γ_R	(R2) γ_R	(R3) γ_R	(R1) γ_R	(R2) γ_R	(R3) γ_R	(R1) γ_R	(R2) γ_R	(R3) γ_R
Carichi assiali									
Base	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25
Carichi trasversali	1,0	1,6	1,3	1,0	1,6	1,3	1,0	1,6	1,3

6.2.3.2 Verifiche nei confronti degli stati limite ultimi idraulici (UPL - HYD)

Le opere geotecniche devono essere verificate nei confronti dei possibili ***stati limite di sollevamento o di sifonamento***.

Per la stabilità al sollevamento (UPL) deve risultare che il **valore di progetto dell'azione instabilizzante Vinst,d**, combinazione di azioni permanenti (Ginst,d) e variabili (Qinst,d), **sia minore o uguale** alla combinazione dei **valori di progetto delle azioni stabilizzanti (Gstb,d) e delle resistenze (Rd)**:

$$\boxed{V_{inst,d} \leq G_{stb,d} + R_d}$$

dove $V_{inst,d} = G_{inst,d} + Q_{inst,d}$

Per le verifiche di stabilità al sollevamento (UPL), i relativi coefficienti parziali sulle azioni sono indicati nella Tab. 6.2.III. Tali coefficienti devono essere combinati in modo opportuno con quelli relativi ai parametri geotecnici (**M2**). (**UPL + M2**) ←

Tabella 6.2.III – *Coefficienti parziali sulle azioni per le verifiche nei confronti di stati limite di sollevamento.*

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente parziale γ_F (o γ_E)	SOLLEVAMENTO (UPL)
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9
	Sfavorevole		1,1
Permanenti non strutturali (1)	Favorevole	γ_{G2}	0,0
	Sfavorevole		1,5
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0,0
	Sfavorevole		1,5

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

<u>Il controllo della stabilità al sifonamento</u> (HYD) si esegue verificando che il **valore di progetto della pressione interstiziale instabilizzante** (uinst,d) **risulti non superiore al valore di progetto della tensione totale stabilizzante** (sstb,d), tenendo conto dei coefficienti parziali della Tab. 6.2.IV:

$$\boxed{u_{inst,d} \leq s_{stb,d}}$$

In entrambe le verifiche, nella valutazione delle pressioni interstiziali, si devono assumere le condizioni più sfavorevoli, considerando i possibili effetti delle successioni stratigrafiche sul regime di pressione dell'acqua.

Nelle verifiche al sifonamento, in presenza di adeguate conoscenze sul regime delle pressioni interstiziali, i coefficienti di sicurezza minimi sono indicati nella Tab. 6.2.IV. Valori superiori possono essere assunti e giustificati tenendo presente della pericolosità del fenomeno in relazione alla natura del terreno, nonché dei possibili effetti della condizione di collasso.

Tabella 6.2.IV – *Coefficienti parziali sulle azioni per le verifiche nei confronti di stati limite di sifonamento.*

CARICHI	EFFETTO	COEFFICIENTE PARZIALE γ_F (o γ_E)	SIFONAMENTO (HYD)
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9
	Sfavorevole		1,3
Permanenti non strutturali (1)	Favorevole	γ_{G2}	0,0
	Sfavorevole		1,5
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0,0
	Sfavorevole		1,5

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

6.2.3.3 Verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio (SLE)

CEDIMENTI E SPOSTAMENTI

Le opere e i sistemi geotecnici devono essere verificati nei confronti degli stati limite di esercizio. **A tale scopo, il progetto deve esplicitare le prescrizioni relative agli spostamenti compatibili e le prestazioni attese per l'opera stessa.**

Il grado di approfondimento dell'analisi di interazione terreno- struttura è funzione dell'importanza dell'opera.

Per ciascun stato limite di esercizio deve essere rispettata la condizione

$$\boxed{Ed \leq Cd} \qquad (6.2.7)$$

dove **Ed** è il **valore di progetto** dell'effetto delle azioni (il cedimento da noi calcolato in funzione delle azioni di progetto; v. Combinazioni delle Azioni) e

Cd è il prescritto valore limite dell'effetto delle azioni.

Quest'ultimo deve essere stabilito in funzione del comportamento della struttura in elevazione **dallo strutturista** .

6.3 STABILITÀ DEI PENDII NATURALI

Lo studio della stabilità dei pendii naturali richiede osservazioni e rilievi di superficie, raccolta di notizie storiche sull'evoluzione dello stato del pendio e su eventuali danni subiti dalle strutture o infrastrutture esistenti, la constatazione di movimenti eventualmente in atto e dei loro caratteri geometrici e cinematici, la raccolta dei dati sulle precipitazioni meteoriche, sui caratteri idrogeologici della zona e sui precedenti interventi di consolidamento. **Le verifiche di sicurezza**, anche in relazione alle opere da eseguire, **devono essere basate su dati acquisiti con specifiche indagini geotecniche.**

MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL PENDIO

Lo studio geologico deve precisare l'origine e la natura dei terreni e delle rocce, il loro assetto stratigrafico e tettonico-strutturale, i caratteri ed i fenomeni geomorfologici e la loro prevedibile evoluzione nel tempo, lo schema della circolazione idrica nel sottosuolo.

Le tecniche di studio, i rilievi e le indagini sono commisurati all'estensione dell'area, alle finalità progettuali e alle peculiarità dello scenario territoriale ed ambientale in cui si opera.

C6.3.2 MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL PENDIO

Lo studio geologico comprende il rilevamento diretto delle discontinuità del terreno (giunti di deposizione, faglie, diaclasi, fratture) delle quali devono essere determinate la distribuzione spaziale, la frequenza e le caratteristiche.

Attraverso un'analisi geomorfologia quantitativa del pendio e delle aree adiacenti devono essere ricercate indicazioni su franosità della zona e su **natura, caratteristiche e grandezza di eventuali movimenti verificatisi in passato e sulla loro possibile evoluzione nel tempo.**

Cosa serve per realizzarla? Quello che è previsto per il settore geotecnico dalle NTC. Appare evidente lo strabismo deliberato della Norma che vuole tagliare alla geologia e portare alla geotecnica, ma incorre in palesi contraddizioni, quali ad esempio le stratigrafie in geotecnica che potrebbero essere prodotte da un geotecnico non geologo o da uno strutturista o da un ingegnere meccanico…..

MODELLAZIONE GEOTECNICA DEL PENDIO

Sulla base dell'inquadramento geomorfologico ed evolutivo del versante, devono essere programmate specifiche indagini per la caratterizzazione geotecnica dei terreni e delle rocce, finalizzate alla definizione del **modello geotecnico** sulla base del quale effettuare lo studio delle condizioni di stabilità, nonché al progetto di eventuali interventi di stabilizzazione.

Le indagini devono effettuarsi secondo i seguenti criteri:

- la superficie del pendio deve essere definita attraverso un rilievo plano-altimetrico in scala adeguata ed esteso ad una zona sufficientemente ampia a monte e valle del pendio stesso;

- lo studio geotecnico deve definire la successione stratigrafica(di competenza esclusiva del geologo!) e le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni e delle rocce, l'entità e la distribuzione delle pressioni interstiziali nel terreno e nelle discontinuità, degli eventuali spostamenti plano-altimetrici di punti in superficie e in profondità.

VERIFICHE DI SICUREZZA

Le verifiche di sicurezza devono essere effettuate con metodi che tengano conto della forma e posizione della superficie di scorrimento, dell'assetto strutturale, dei parametri geotecnici e del regime delle pressioni interstiziali.

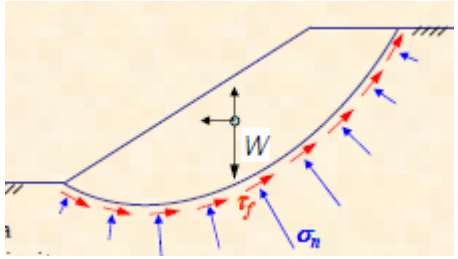
Nel caso di pendii in frana le verifiche di sicurezza devono essere eseguite lungo le superfici di scorrimento che meglio approssimano quella/e riconosciuta/e con le indagini.

Negli altri casi, la verifica di sicurezza deve essere eseguita lungo superfici di scorrimento cinematicamente possibili, in numero sufficiente per ricercare la superficie critica alla quale corrisponde il grado di sicurezza più basso.

Quando sussistano condizioni tali da non consentire una agevole valutazione delle pressioni interstiziali, le verifiche di sicurezza devono essere eseguite assumendo le condizioni più sfavorevoli che ragionevolmente si possono prevedere.

Il livello di sicurezza è espresso, in generale, come **rapporto tra resistenza al taglio disponibile, presa con il suo valore caratteristico e sforzo di taglio mobilitato lungo la superficie di scorrimento effettiva o potenziale.**

$$Fs = \tau s / \tau m$$



τs resistenza al taglio disponibile

τm sforzo di taglio mobilitato lungo la superficie di scorrimento (effettiva o potenziale) sotto l'azione dei carichi

*Il **grado di sicurezza ritenuto accettabile dal geotecnico** **deve essere giustificato** sulla base del livello di conoscenze raggiunto, dell'affidabilità dei dati disponibili e del modello di calcolo adottato in relazione alla complessità geologica e geotecnica, **nonché sulla base delle conseguenze di un'eventuale frana.***

Le NTC e le Istruzioni suggeriscono solo l'uso dei parametri caratteristici per i pendii naturali.

Poiché il volume interessato in una frana è notevole, secondo le Istruzioni del CSLP *i valori caratteristici sono prossimi ai valori medi.* (La comunità scientifica suggerisce : a meno della deviazione standard).

La proposta appare contorta e contraddittoria rispetto a tutte le verifiche globali di stabilità postulate dalle stesse NTC, alle verifiche dei pendii artificiali e alle verifiche di stabilità dei fronti di scavo. Inoltre, in palese contrasto con EC7 e con gli stessi principi di NTC, non viene definito alcun Approccio progettuale. Infatti, i princìpi di NTC circa le verifiche di sicurezza richiedono :

Per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione

$$Ed \leq Rd \qquad (6.2.1)$$

La verifica di detta condizione deve essere effettuata impiegando diverse **combinazioni di gruppi di coefficienti parziali**, rispettivamente definiti

-per le **azioni (A1 e A2)**

-per i **parametri geotecnici (M1 e M2)**

-per le **resistenze (R1, R2 e R3).**

Ulteriori contraddizioni e conferme a quanto da noi sostenuto si palesano in presenza di azione sismica (v. C7.11.3.5), quando, applicando il metodo pseudostatico, la Norma fa riferimento allo SLU dinamico SLV, ossia ad un livello prestazionale, ma non ci sono riferimenti ad Approcci e relative Combinazioni. Dunque, per le NTC 2008 le verifiche vanno effettuate, utilizzando i parametri caratteristici, con le stesse modalità delle tensioni ammissibili.

Secondo l'EC 7 e larga parte della comunità scientifica nella verifica dei versanti si assume :

Approccio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R2)

con R2 = 1.1 ←

Alla luce dell'EC7 per i parametri caratteristici è più opportuno utilizzare l'approccio statistico (v. II Parte : Applicazioni pratiche) che, in generale, è più affidabile.

INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE

La scelta delle più idonee tipologie degli interventi di stabilizzazione deve essere effettuata solo dopo aver individuato le cause promotrici della frana e dipende, oltre che da queste, da forma e posizione della superficie di scorrimento.

La valutazione dell'incremento di sicurezza indotto dagli interventi di stabilizzazione lungo la superficie di scorrimento critica deve essere accompagnata da valutazioni del grado di sicurezza lungo superfici di scorrimento alternative a quella critica.

Il progetto degli interventi di stabilizzazione deve comprendere la descrizione completa dell'intervento, l'influenza delle modalità costruttive sulle condizioni di stabilità, il ***piano di monitoraggio e un significativo piano di gestione e controllo nel tempo della funzionalità e dell'efficacia dei provvedimenti adottati****. In ogni caso devono essere definiti l'entità del miglioramento delle condizioni di sicurezza del pendio e i criteri per verificarne il raggiungimento.*

CONTROLLI E MONITORAGGIO

Il monitoraggio di un pendio o di una frana interessa le diverse fasi che vanno dallo studio al progetto, alla realizzazione e gestione delle opere di stabilizzazione e al controllo della loro funzionalità e durabilità. Esso è riferito principalmente agli spostamenti di punti significativi del pendio, in superficie e/o in profondità, al controllo di eventuali manufatti presenti e alla misura delle pressioni interstiziali, da effettuare con periodicità e durata tali da consentire di definirne le variazioni periodiche e stagionali.

Il controllo dell'efficacia degli interventi di stabilizzazione deve comprendere la definizione delle soglie di attenzione e di allarme e dei provvedimenti da assumere in caso del relativo superamento.

6.4.OPERE DI FONDAZIONE

6.4.2 FONDAZIONI SUPERFICIALI

Verifiche agli stati limite ultimi (SLU)

Nelle verifiche di sicurezza devono essere presi in considerazione tutti i meccanismi di stato limite ultimo, **sia a breve che a lungo termine.**

Gli stati limite ultimi delle fondazioni superficiali si riferiscono allo sviluppo di **meccanismi di collasso** determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono la fondazione stessa.

Nel caso di **fondazioni posizionate su o in prossimità di pendii** naturali o artificiali deve essere effettuata la verifica anche con riferimento alle condizioni di stabilità globale del pendio **includendo nelle verifiche le azioni trasmesse dalle fondazioni.**

Le verifiche devono essere effettuate almeno nei confronti dei seguenti stati limite:

-SLU di tipo geotecnico (GEO)

-**stabilità globale** (fondazione su pendio)*

- **collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno****

- **collasso per scorrimento sul piano di posa****

-SLU di tipo strutturale (STR)

-collasso per raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali

*La **verifica di stabilità globale** deve essere effettuata **obbligatoriamente** secondo l'*Approccio 1* - **Combinazione 2: (A2+M2+R2)** **[con R2 = 1.1]**

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II per le azioni e i parametri geotecnici e nella Tabella 6.8.I per le resistenze globali.

****Le rimanenti verifiche** devono essere effettuate tenendo conto dei valori dei **coefficienti parziali** riportati nelle Tab. 6.2.I, 6.2.II e 6.4.I, **seguendo almeno uno dei due approcci**:

Approccio 1:

-Combinazione 1: (A1+M1+R1) (STR)

-Combinazione 2: (A2+M2+R2) (GEO)

Approccio 2:

(A1+M1+R3) (STRU-GEO)

Nelle **verifiche** effettuate **con l'approccio 2** che siano **finalizzate al dimensionamento strutturale(STR)**, il **coefficiente γ_R non deve essere portato in conto R3 = R1.**

Tabella 6.4.I - *Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali.*

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

Verifiche agli stati limite di esercizio (SLE)

Si devono calcolare i valori degli ***spostamenti*** e delle ***distorsioni*** per verificarne la compatibilità con i requisiti prestazionali della struttura in elevazione (§§ 2.2.2 e 2.6.2 NTC), nel rispetto della condizione (6.2.7).

Analogamente, forma, dimensioni e rigidezza della struttura di fondazione devono essere stabilite nel rispetto dei summenzionati requisiti prestazionali, tenendo presente che **le verifiche agli stati limite di esercizio possono risultare più restrittive di quelle agli stati limite ultimi.**