

Circolari emanate dal Servizio Tecnico Centrale

**CIRCOLARE MINISTERO LAVORI PUBBLICI, 24
SETTEMBRE 1988, N. 30483**

MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI

**LEGGE 2 FEBBRAIO 1974 N. 64, ART. 1 - D.M.
11 MARZO 1988.**

**Istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle
rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle
scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la
progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere
di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
Istruzioni per l'applicazione.**

N.B. La numerazione introdotta nel testo delle istruzioni è in stretta correlazione con la numerazione della normativa in riferimento.

A.2. Prescrizioni generali.

Nella scelta dei lavori dei coefficienti di sicurezza si terrà conto dei seguenti fattori:

- requisiti e importanza dell'opera con particolare riguardo alla sicurezza delle persone;
- grado di conoscenza sulla costituzione del sottosuolo e sulle proprietà dei terreni;
- caratteristiche ed intensità delle azioni considerate e loro probabilità di verificarsi (secondo i criteri esposti dalle norme tecniche sui carichi e sovraccarichi approvate con D.M. 3-10-1978) (Ora sostituito dal D.M. 16-01-1996)
- grado di approssimazione dei metodi di calcolo;
- influenza delle variazioni dei parametri caratteristici dei terreni sui valori dei coefficienti di sicurezza;
- verifica della rispondenza tra la caratterizzazione geotecnica assunta in progetto

- e l'effettiva situazione dei luoghi;
- esperienza locale.

Per le opere di rilevante importanza, in rapporto anche alla sicurezza dell'opera stessa e a tutela della pubblica incolumità, la richiesta valutazione dei prevedibili spostamenti potrà essere controllata durante e dopo la costruzione dell'opera, secondo un programma di misure e di osservazioni da definire in progetto.

Particolare attenzione sarà dedicata alle opere provvisorie quali scavi con o senza armatura, opere di sostegno, procedimenti per abbassamenti della falda, ancoraggi, consolidamenti, ecc.

Le opere provvisorie vanno progettate con criteri analoghi a quelli delle opere a carattere permanente.

A.3. Elaborati geotecnici e geologici.

La relazione geotecnica conterrà:

a) illustrazione del programma di indagini con motivato giudizio sulla affidabilità dei risultati ottenuti; caratterizzazione geotecnica del sottosuolo in relazione alle finalità da raggiungere con il progetto effettuato sulla base dei dati raccolti con le indagini eseguite.

La relazione deve essere corredata da una planimetria con le ubicazioni delle indagini sia quelle appositamente effettuate, che quelle di carattere storico e di esperienza locale, dalla documentazione sulle indagini in sito ed in laboratorio, dal profilo litologico e stratigrafico del sottosuolo con la localizzazione delle falde idriche;

b) scelta e dimensionamento del manufatto o dell'intervento: risultati dei calcoli geotecnici, conclusioni tecniche; procedimenti costruttivi e controlli. La relazione deve essere completa in tutti gli elaborati grafici ed analitici necessari per la precisa comprensione del progetto.

La relazione geologica definirà con preciso riferimento al progetto i lineamenti geomorfologici della zona nonché gli eventuali processi morfogenici e i dissesti in atto o potenziali e la loro tendenza evolutiva, la successione litostratigrafica locale con definizione della genesi e distribuzione spaziale dei litotipi, del loro stato di alterazione e fessurazione e della loro degradabilità; preciserà inoltre i caratteri geostutturali generali, la geometria e le caratteristiche delle superfici di discontinuità in genere e degli ammassi rocciosi in particolare, e fornirà lo schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea.

La relazione sarà corredata dagli elaborati grafici, carte e sezioni geologiche, ecc. e dalla documentazione delle indagini in sito ed in laboratorio, sia quelle appositamente effettuate, che quelle di carattere storico e di esperienza locale.

La caratterizzazione geotecnica del sottosuolo e la ricostruzione geologica debbono essere reciprocamente coerenti.

A tale riguardo la relazione geotecnica deve fare esplicito riferimento alla relazione geologica e viceversa.

B. Indagini geotecniche

B.1. Oggetto delle norme.

Tra i dati geotecnici necessari per il progetto dell'opera saranno in particolare presi in considerazione la stratigrafia, le caratteristiche delle falde idriche, le proprietà geotecniche dei terreni e tutti gli altri elementi significativi del sottosuolo, nonché le proprietà dei materiali da impiegare per la costruzione dei manufatti di materiali sciolti.

B.2. Indagini nelle fasi di progetto e di costruzione.

Le indagini saranno sviluppate secondo gradi di approfondimento e di ampiezza commisurati nelle varie fasi, del progetto alla costruzione, attraverso le quali si giunge alla realizzazione dell'opera.

Per definire il profilo geotecnico, le proprietà fisico-meccaniche dei terreni, la posizione delle falde idriche e le loro caratteristiche, si raccomanda di eseguire specifiche indagini, in sito ed in laboratorio, secondo un programma definito in base alle caratteristiche del sottosuolo e dell'opera in progetto.

Opere che incidano grandi aree e che incidano profondamente sul territorio, richiedono un progetto di fattibilità secondo i criteri di cui alla sez. H della norma.

Nel caso di opere di notevole mole e di importanza dal punto di vista della sicurezza o che interessino terreni con caratteristiche meccaniche scadenti, si consiglia di effettuare il controllo del comportamento dell'opera durante e dopo la costruzione.

A tale fine sarà predisposto un programma di osservazioni e misure (spostamenti di punti significativi, pressioni neutre, ecc.) di ampiezza commisurata all'importanza dell'opera e alla complessità della situazione geotecnica.

Ai fini del progetto e della esecuzione delle indagini, possono essere utilmente consultate le raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche pubblicate a cura dell'Associazione Geotecnica Italiana (A.G.I.).

B.3. Ampiezza dell'indagine.

Il volume significativo ha forma ed estensione diverse a seconda del problema in esame e va individuato caso per caso, in base alle dimensioni dell'opera ed alla

natura e caratteristiche dei terreni del sottosuolo.

B.4. Mezzi d'indagine. Tecniche d'indagine.

A titolo indicativo nella tabella 1 sono elencati i mezzi di indagine di più frequente uso.

Il tipo e la tecnica esecutiva delle perforazioni di sondaggio saranno scelti in funzione della natura dei terreni e delle operazioni da compiere nel corso del sondaggio (prelievo di campioni rimaneggiati o indisturbati, rilievi sulle falde idriche, prove di carattere meccanico, ecc.).

I dati forniti dalle prospezioni geofisiche (con metodi elettrici, sismici, ecc.) saranno in ogni caso tarati e controllati con quelli forniti dalle altre indagini. Di regola, salvo casi particolari, essi non possono essere impiegati direttamente nei calcoli statici.

La scelta dei mezzi di indagine sarà effettuata in fase di progetto dell'indagine e verificata durante lo svolgimento dell'indagine stessa.

TABELLA 1

Finalità	Principali mezzi di indagine	
Profili geologico e geotecnico	sondaggi pozzi trincee cunicoli prospezioni geofisiche	con prelievo di campioni rimaneggiati ed indisturbati
Proprietà fisico meccaniche	Terreni a grana fine	<ul style="list-style-type: none"> • prove di laboratorio su campioni • prove penetrometriche • prove scissometriche • prove di carico su piastra • prove speciali in sito (prove di taglio prove pressiometriche, ecc.)
	Terreni a grana grossa	<ul style="list-style-type: none"> • prove penetrometriche • prove di carico su piastra

	Rocce	<ul style="list-style-type: none"> • prove di laboratorio su campioni • prove di carico su piastra • prove speciali in sito (prove di taglio prove pressiometriche, ecc.)
Rilievi sulle falde idriche	Terreni di qualsiasi tipo	<ul style="list-style-type: none"> • piezometri • sondaggi • pozzi • trincee • cunicoli • prospezioni geofisiche
Permeabilità	Terreni a grana grossa o rocce porose molto fratturate	<ul style="list-style-type: none"> • prove idrauliche in fori di sondaggio • prove di emungimento da pozzi
	Terreni a grana fine	<ul style="list-style-type: none"> • prove di laboratorio su campioni indisturbati • prove piezometriche
Verifica di procedimenti tecnologici	Palificate	<ul style="list-style-type: none"> • Prove di carico su pali singoli o gruppi di pali
	Impermeabilizzazioni	<ul style="list-style-type: none"> • prove di impermeabilità in sito e misura di quote piezometriche prima e dopo l'intervento

	<p>Consolidamenti (terreni o rocce)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • prove di laboratorio • determinazione delle proprietà meccaniche in sito eventualmente con l'ausilio di indagini geofisiche prima e dopo l'intervento
--	---	--

SVOLGIMENTO DELLE INDAGINI IN SITO.

La posizione dei punti di indagine sarà rilevata topograficamente e riportata su una planimetria.

Pozzi cunicoli e trincee saranno eseguiti nel rispetto delle norme di sicurezza per gli scavi all'aperto e in sotterraneo, badando in particolare a garantire l'accessibilità per tutto il tempo di durata delle indagini.

Gli scavi saranno realizzati in modo tale da non causare apprezzabili modifiche alla situazione esistente, sia dal punto di vista statico che da quello idraulico. Dopo la loro utilizzazione, salvo il caso che vengano direttamente inglobati nell'opera, essi vanno accuratamente riempiti ed intasati con materiale idoneo in modo da ripristinare, per quanto possibile, la situazione iniziale.

Nel corso dell'esecuzione di perforazione di sondaggio, particolare cura deve essere posta per evitare di provocare mescolanze tra terreni diversi e di porre in comunicazione falde idriche.

I fori di sondaggio, salvo il caso che vengano utilizzati per l'installazione di strumenti di misura (ad es.: inclinometri piezometri, ecc.), devono essere accuratamente richiusi, procedendo al sistematico intasamento a partire dal fondo con materiali idonei (ad es.: malte cementizie, miscele cemento-argilla, sabbia fine, ecc.).

Il prelievo di campioni rimaneggiati può essere effettuato con le normali attrezzature di scavo o di perforazione. I campioni rimaneggiati devono essere granulometricamente completi, avere dimensioni tali da consentire il riconoscimento dei terreni attraversati e devono essere in numero sufficiente per costruire i profili geologico e geotecnico.

I campioni rimaneggiati devono essere conservati in cassette o barattoli con chiare e durevoli indicazioni sul numero del sondaggio o del pozzo e sulle quote di prelievo; non devono essere esposti all'azione degli agenti atmosferici e devono essere conservati per lo meno per tutta la durata dell'indagine.

Il prelievo di campioni indisturbati da scavi o perforazioni di sondaggio deve essere eseguito da personale specializzato, sotto il controllo di tecnici qualificati, con utensili ed attrezzature particolari (campionatori). Il tipo di campionatore sarà scelto in relazione al tipo di terreno ed alle finalità dell'indagine. Le dimensioni dei campioni indisturbati e la tecnologia di prelievo saranno stabilite in base alle prove da eseguire in laboratorio ed alle caratteristiche del terreno.

I campioni indisturbati devono essere sigillati e conservati in modo che mantengano invariati il contenuto in acqua e la struttura fino al momento della utilizzazione.

Su ciascun campione indisturbato saranno riportati i dati necessari per stabilire la posizione del campione e le caratteristiche del campionatore adoperato.

I risultati delle indagini, condotte da personale tecnico specializzato, saranno documentati con:

- una planimetria generale della zona con riportati tutti i punti di indagine direttamente rilevati sul terreno;
- i profili litostratigrafici di eventuali scavi e fori di sondaggio;
- i particolari esecutivi delle prove o misure eseguite;
- dati sulla posizione e tipo di eventuali falde idriche;
- notizie degli avvenimenti particolari verificatisi durante l'esecuzione dei lavori ed ogni altro eventuale dato utile per la caratterizzazione geotecnica e geologica del sottosuolo.

Si indicheranno, altresì, i tipi e le caratteristiche di tutte le attrezzature impiegate.

Indagini di laboratorio.

Le indagini di laboratorio hanno lo scopo di determinare:

- le proprietà indici per l'identificazione e la classifica geotecnica dei terreni;
- le proprietà fisico-meccaniche (peso dell'unità di volume, resistenza a rottura, deformabilità, permeabilità, ecc.).

La determinazione delle proprietà indici può essere effettuata sia su campioni rimaneggiati che su campioni indisturbati; le proprietà fisico-meccaniche devono essere determinate con prove eseguite su campioni indisturbati.

Le prove sui materiali da costruzione devono essere effettuate su campioni significativi dei materiali disponibili preparati in laboratorio secondo modalità da stabilire in relazione alle condizioni di posa in opera previste ed alla destinazione del manufatto.

I risultati delle prove di laboratorio devono essere accompagnati da chiare indicazioni sulle modalità sperimentali adottate.

C. Opere di fondazione

C.1. Oggetto delle norme.

Le fondazioni sono distinte in fondazioni dirette (ad es.: plinti, travi, platee) e fondazioni profonde (ad es.: pali, pozzi, cassoni, paratie).

C.2. Criteri di progetto.

Il comportamento delle fondazioni è condizionato da numerosi fattori, dei quali si elencano quelli che generalmente occorre considerare:

a. Terreni di fondazione:

- - litostratigrafia;
- - proprietà fisiche e meccaniche;
- - presenza e caratteristiche delle acque sotterranee.

Tutti questi elementi devono essere definiti con le indagini specifiche.

b. Opere in progetto:

- - dimensioni d'insieme dell'opera;
- - caratteristiche della struttura in elevazione, con particolare riferimento alla sua attitudine ad indurre o a subire cedimenti differenziali;
- - sequenza cronologica con la quale vengono costruite le varie parti dell'opera;
- - distribuzione, intensità o variazione nel tempo dei carichi trasmessi alla fondazione, distinguendo i carichi permanenti da quelli accidentali, e questi, a loro volta, in statici e dinamici.

c. Fattori ambientali:

- - caratteri morfologici e lineamenti geologici della zona;
- - deflusso delle acque superficiali;
- - presenza o caratteristiche di altri manufatti (edifici, canali, acquedotti, fogne, strade, muri di sostegno, gallerie, ponti, ecc.) esistenti nelle vicinanze o dei quali è prevista la costruzione.

Le fasi del progetto assumeranno ampiezza e grado di approssimazione diversi secondo l'importanza del manufatto e dei fattori sopra elencati, e in relazione al grado di sviluppo previsto per il progetto (preliminare, di massima, esecutivo).

Qualora non si adotti un unico tipo di fondazione per tutto il manufatto, si terrà conto dei diversi comportamenti dei tipi di fondazione adottati, in particolare per quanto concerne i cedimenti.

Nel caso di ponti, opere marittime e simili è necessario in particolare considerare la configurazione e la mobilità

dell'alveo fluviale o del fondo marino, la erodibilità di questi in dipendenza del regime delle acque e delle caratteristiche dei terreni e del manufatto.

La costruzione di manufatti in zone franose, per i quali non è possibile una diversa localizzazione, richiede la valutazione delle azioni trasmesse dai terreni in movimento al manufatto ed alla sua fondazione. A tale fine è necessario definire le caratteristiche geometriche e cinematiche dei dissesti in conformità a quanto indicato dalla sezione G della norma.

C.3. Prescrizioni per le indagini.

Nel caso di fabbricati di civile abitazione la profondità da raggiungere con le indagini può essere dell'ordine di $b \div 2b$, ove b è la lunghezza del lato minore del rettangolo che meglio approssima la forma in pianta del manufatto. Nel caso di fondazioni su pali, la profondità, computata dall'estremità inferiore dei pali, può essere dell'ordine di $0,5 b \div b$.

Delle indagini in sito si ricordano in particolare prove penetrometriche, statiche e dinamiche, e quelle scissometriche.

A seconda del tipo di terreno, queste prove possono efficacemente integrare le indagini di laboratorio per la determinazione delle proprietà meccaniche dei terreni.

Le indagini geotecniche di laboratorio, da effettuare presso laboratori qualificati nel settore della meccanica delle terre e delle rocce, saranno commisurate al tipo ed alle caratteristiche dell'opera e saranno programmate sulla base della natura dei terreni. Esse consentono di determinare le caratteristiche fisiche generali e le proprietà indici al fine di classificare i terreni, ed inoltre i parametri di resistenza necessari per la verifica a rottura del complesso fondazione-terreno.

Nel caso di terreni a grana fine, specifiche prove di laboratorio possono fornire i parametri che definiscono la comprimibilità e, ove necessario, le caratteristiche di consolidazione per valutare i cedimenti e il loro decorso nel tempo.

Nella programmazione delle prove di laboratorio si terrà conto che la resistenza e la deformabilità dei terreni dipendono dal valore delle tensioni nel sottosuolo (dovute al peso proprio del terreno ed ai sovraccarichi trasmessi dalla fondazione) e dalle modalità di applicazione nel tempo dei sovraccarichi stessi.

C.4. Fondazioni dirette.

C.4.1. Criteri di progetto.

Nel progetto si terrà conto della presenza di sottoservizi e dell'influenza di questi sul comportamento del manufatto.

Nel caso di reti idriche e fognarie occorre porre particolare attenzione ai possibili inconvenienti derivanti da immissioni o perdite di liquidi nel sottosuolo.

E' opportuno che il piano di posa di una fondazione sia tutto sullo stesso livello.

Ove ciò non sia possibile, le fondazioni adiacenti, appartenenti o non ad un unico manufatto, saranno verificate tenendo conto della reciproca influenza e della configurazione dei piani di posa.

Le fondazioni situate nell'alveo o nelle golene di corsi d'acqua possono essere soggette allo scalzamento e perciò vanno adeguatamente difese e approfondite. Analoga precauzione sarà presa nel caso delle opere marittime.

C.4.3. Cedimenti.

Per effetto dei carichi trasmessi dalle opere di fondazione, i terreni subiscono deformazioni che provocano spostamenti del piano di posa. Le componenti verticali degli spostamenti (cedimenti) assumono in genere valori diversi sul piano di posa di un manufatto. Si definisce cedimento differenziale la differenza dei cedimenti tra punti di una stessa fondazione, di fondazioni distinte con sovrastrutture comuni e di fondazioni distinte con sovrastrutture staticamente indipendenti.

In base alla evoluzione nel tempo si distinguono: cedimenti immediati e cedimenti differiti. I cedimenti differiti sono caratteristici dei terreni a grana fine poco permeabili e dei terreni organici.

La previsione dei cedimenti sarà basata su calcoli svolti con i procedimenti e con i metodi della geotecnica, tenuto conto delle caratteristiche meccaniche dei terreni.

Nel caso di terreni a grana fine, i parametri che caratterizzano la deformabilità saranno di regola ottenuti con indagini di laboratorio. Nel caso di terreni a grana media o grossa, i parametri anzidetti, possono essere valutati sulla base dei risultati di indagini in sito.

Sulla base della previsione dei cedimenti sarà espresso un giudizio sulla loro ammissibilità con riferimento ai limiti imposti dal comportamento statico e dalla funzionalità del manufatto.

Qualora il manufatto in progetto possa influire sul comportamento statico e sulla funzionalità di manufatti adiacenti, il giudizio di ammissibilità sarà esteso a questi ultimi.

C.5. Fondazioni su pali

C.5.1. Criteri di progetto

A seconda delle modalità esecutive i tipi più comuni di pali di fondazione possono essere classificati in:

- pali prefabbricati ed infissi (es.: pali infissi a percussione, vibrazione, pressione, ecc.);
- pali gettati in opera senza asportazione di terreno;
- pali gettati in opera con asportazione di terreno.

L'interasse tra i pali va stabilito tenuto conto della funzione della palificata e del procedimento costruttivo. Di regola, e salvo condizioni particolari, l'interasse minimo deve essere pari a 3 volte il diametro del palo.

Per le palificate soggette anche a forze orizzontali di intensità non trascurabile si deve valutare lo stato di sollecitazione nel palo e nel terreno e verificarne l'ammissibilità sviluppando calcoli geotecnici specifici in presenza di tali forze.

In questo caso va condotta una specifica verifica "a taglio".

C.5.2. Indagini specifiche.

L'indagine sul terreno si intende estesa dal piano di campagna fino alla profondità significativa al di sotto della punta dei pali.

C.5.3. Carico limite e carico ammissibile del palo singolo.

Per la determinazione del carico assiale limite del complesso palo-terreno, si farà ricorso a:

- a. formule statiche che consentono di valutare la resistenza alla base del palo e quella lungo il fusto;
- b. formule dinamiche, basate su osservazioni acquisite durante la esecuzione dei pali infissi e battuti;
- c. correlazioni empiriche basate sui risultati di prove penetrometriche;
- d. sperimentazione diretta su pali di prova (vedi paragr. C.5.5. "Norme").

L'approssimazione del calcolo del carico limite, svolta con i procedimenti di cui ai precedenti punti a), b), c) dipende dalle schematizzazioni insite in detti procedimenti e da fattori variabili caso per caso. Pertanto deve essere giustificata la scelta del procedimento impiegato ed espresso un giudizio sulla attendibilità delle previsioni.

Nei casi in cui siano notevoli le incertezze sull'applicazione dei procedimenti o sui valori dei parametri da introdurre nei calcoli o sull'influenza della tecnica di esecuzione del palo sulle proprietà dei terreni, il carico assiale limite sarà stabilito in base ai risultati di prove di carico di progetto.

C.5.4. Carico ammissibile della palificata.

Il progetto della fondazione su pali deve comprendere considerazioni riguardanti i cedimenti della palificata e l'influenza di questi sulla sovrastruttura.

Il calcolo dei cedimenti può essere svolto sulla base di una opportuna schematizzazione delle sollecitazioni trasmesse dalla palificata al sottosuolo.

Le dimensioni degli elementi strutturali di collegamento tra i pali devono essere fissate in coerenza con le ipotesi adottate per la ripartizione dei carichi tra i pali stessi.

Questi elementi vanno verificati per la condizione di carico costituita dalle azioni ad essi trasmesse dalla sovrastruttura e dalle reazioni dei singoli pali.

C.5.5. Prove di carico.

Prove di progetto. Queste prove vengono effettuate su pali appositamente costruiti.

Esse hanno la finalità di determinare il carico limite del complesso palo-terreno, perciò vanno spinte fino a quel valore del carico per il quale si raggiunge la condizione di rottura del terreno. Ove ciò non sia possibile la prova deve essere eseguita fino ad un carico pari ad almeno 2,5 volte il carico di esercizio.

Prove di collaudo. - Queste prove vengono effettuate su pali della palificata durante ed al termine della sua costruzione, al fine di verificare se il comportamento dei pali corrisponde a quello previsto in progetto.

Esecuzione delle prove. - L'applicazione del carico sul palo sarà graduale e le modalità e durata della prova saranno fissate sulla base delle caratteristiche meccaniche dei terreni.

La misura degli spostamenti della testa del palo deve essere riferita a punti fissi non influenzati dalle operazioni di prova.

Gli strumenti impiegati per le prove (flessimetri, manometri, martinetti, ecc.) devono essere tarati e controllati.

D.4. Verifiche dei muri di sostegno con fondazioni superficiali.

D.4.1. Azioni sul muro di sostegno.

I più comuni tipi di muri di sostegno possono essere suddivisi dal punto di vista costruttivo in muri di pietrame a secco eventualmente sistemato a gabbioni; muri di muratura ordinaria o di conglomerato cementizio; muri di conglomerato cementizio armato, formati generalmente da una soletta di fondazione e da una parete con o senza contrafforti; speciali muri in terra costituiti da associazione di materiale granulare e armature metalliche ad alta aderenza e da un paramento articolato di pannelli prefabbricati in calcestruzzo.

Il coefficiente di spinta attiva assume valori che dipendono dalla geometria del paramento del muro e dei terreni retrostanti, nonché dalle caratteristiche dei terreni e del contatto terra-muro.

Nel caso di muri i cui spostamenti orizzontali siano impediti, la spinta può raggiungere valori maggiori di quelli relativi alla condizione di spinta attiva.

Per la distribuzione delle pressioni neutre occorre far riferimento alle differenti condizioni che possono verificarsi nel tempo in dipendenza, ad esempio, dell'intensità e durata delle precipitazioni, della capacità drenante del terreno, delle caratteristiche e della efficienza del sistema di drenaggio.

Le azioni sull'opera devono essere valutate con riferimento all'intero paramento di monte, compreso il basamento di fondazione.

La verifica strutturale del muro sarà eseguita con i metodi della tecnica delle costruzioni.

E.1. Oggetto delle norme.

I manufatti di materiali sciolti sono ad esempio:

- rilevati per strade, ferrovie, aeroporti e piazzali;
- riempimenti a tergo di strutture di sostegno;
- argini e moli.

E.3. Criteri di progetto.

Per i rilevati ed i rinterri a tergo di opere di sostegno sono da preferire le terre a grana media o grossa. Terre a grana fine possono essere impiegate per opere di modesta importanza e quando non sia possibile reperire materiali migliori.

Si possono adoperare anche materiali ottenuti dalla frantumazione di rocce.

Sono da escludere materiali con forti percentuali di sostanze organiche di qualsiasi tipo e materiali fortemente rigonfiati.

I materiali per gli argini saranno scelti tenendo presenti i possibili motivi di filtrazione.

Per i dreni saranno adoperati materiali di elevata permeabilità; la loro granulometria sarà scelta in relazione alle caratteristiche dei materiali a contatto con i dreni stessi, secondo quanto disposto alla sezione N.

Per i moli saranno adoperati blocchi di rocce durevoli, in particolare nei confronti dell'acqua marina, e di dimensioni e caratteristiche idonee a resistere alle azioni esercitate dal moto ondoso. Limitatamente alla zona interna del manufatto possono essere adoperati materiali naturali o di frantumazione purché privi di frazione fine e opportunamente protetti da filtri.

Per gli speciali muri in terra mista di cui al punto D.4. 1. i materiali da preferire saranno costituiti da terre con passante ai 15 micron non superiore al 20% e dovranno comunque obbedire, per le caratteristiche meccaniche e chimico-fisiche, ai requisiti richiesti comunemente per tali tipi di opere.

Per la progettazione delle opere stradali e per l'impiego delle terre nei manufatti stradali, si rinvia alle apposite norme C.N.R. relative alla campionatura, alle prove sui materiali stradali ed alla tecnica di impiego delle terre.

Si rinvia anche alle "istruzioni per la redazione di progetti stradali" pubblicate dal C.N.R.

Per i manufatti di materiali sciolti nei quali trovano impiego anche elementi di rinforzo costituiti da altri materiali (noti in commercio con diversi tipi brevettati, come ad esempio "terra armata", ecc.) si richiama l'attenzione sulla necessità di effettuare verifiche anche relativamente al comportamento nei riguardi dell'azione aggressiva dell'ambiente ed in particolare delle acque.

F.1. Oggetto delle norme.

I manufatti indicati nella relativa norma sono, ad esempio, gallerie idrauliche, stradali, ferroviarie con relativi imbocchi di estremità o intermedi (pozzi, finestre, discenderie), caverne per centrali idroelettriche, depositi o parcheggi sotterranei.

Lo scavo in sotterraneo può svilupparsi in differenti posizioni rispetto alla superficie topografica:

- con piccolo ricoprimento di terreno (ad es.: gallerie metropolitane, subacquee, parietali);
- con grande ricoprimento di terreno (ad es.: gallerie di valico, depositi sotterranei).

Per le gallerie minerarie si rimanda alla normativa specifica.

F.2. Indagini specifiche.

Il programma di ricerche e di indagini sui terreni deve essere predisposto ed

attuato sulla base della ricostruzione dei lineamenti geologici della zona ed in dipendenza dell'entità del ricoprimento.

Nel caso di rocce fratturate le ricerche devono comprendere la descrizione qualitativa e quantitativa dello stato di fratturazione ed in genere delle discontinuità strutturali presenti nella formazione.

F.3. Progetto.

F.3.1. Criteri di progetto.

Nella previsione progettuale dei metodi di scavo, particolare considerazione dovrà avervi per la sicurezza in avanzamento, per la stabilità di eventuali manufatti circostanti e per la sistemazione del materiale di risulta.

La costruzione di un'opera in sotterraneo determina una modifica dello stato tensionale del sottosuolo rispetto alla situazione preesistente. Il nuovo stato di sollecitazione dipende dallo stato tensionale preesistente, dalla forma e dalle dimensioni dell'opera, dalla posizione di questa rispetto alla superficie esterna, dal metodo seguito nella costruzione e dalla successione delle varie fasi della lavorazione, nonché dal tipo di rivestimento, provvisorio o definitivo, adottati.

Ulteriori variazioni dello stato tensionale possono essere indotte nel sottosuolo durante l'esercizio dell'opera per effetto della spinta di fluidi convogliati dalla galleria o di sollecitazioni statiche e dinamiche dovute al traffico.

La grandezza delle deformazioni indotte nel terreno dalla costruzione di un'opera in sotterraneo dipende dallo stato tensionale del terreno, dall'azione dell'acqua eventualmente presente, nonché dal metodo di scavo adottato.

Gli spostamenti della superficie esterna per effetto dello scavo in sotterraneo, devono essere sempre valutati con prudenza, tenendo conto anche dell'effetto dell'eventuale abbassamento della falda provocato dalla costruzione dell'opera.

F.3.2

La stabilità del fronte di avanzamento dipende dallo stato dei terreni che si attraversano o di quelli immediatamente circostanti, dalla grandezza del ricoprimento in rapporto al diametro della galleria, dalla velocità di avanzamento, dalle caratteristiche della eventuale macchina di scavo, dai procedimenti che si seguono nella posa in opera dei sostegni e del pririvestimento. In particolari terreni (ad es.: sabbie fini di bassa porosità, argille dure fessurate, rocce fratturate) le condizioni di stabilità possono essere notevolmente modificate dagli effetti meccanici dei fenomeni di filtrazione o di percolazione dal fronte di scavo.

Eventuali metodi speciali di trattamento preventivo, previsti in progetto per migliorare temporaneamente o permanentemente le proprietà meccaniche dei terreni devono essere adeguatamente illustrati e giustificati, secondo quanto

disposto alla sezione N.

Le previsioni di progetto devono essere sufficientemente ampie per tener conto di eventuali variazioni delle proprietà meccaniche dei terreni lungo l'asse della galleria.

F.3.3

Il comportamento del rivestimento dipende dalle dimensioni e dalla profondità della galleria, dallo stato tensionale del sottosuolo, dalla rigidità della struttura, dal metodo, dalla sequenza e dai tempi delle operazioni di costruzione dell'eventuale prerivestimento.

Il comportamento del prerivestimento dipende principalmente dalle modalità e dall'accuratezza con le quali viene realizzato. Pertanto l'adeguatezza del rivestimento e dell'eventuale prerivestimento sarà controllata in fase costruttiva per mezzo di misure.

F.4.

Il programma dei controlli previsti in progetto indicherà la strumentazione da impiegare, nonché la ubicazione degli strumenti e la sequenza delle misure.

G.1. Oggetto delle norme.

Le fronti di scavo indicate nella norma cui si riferiscono le presenti istruzioni, attengono ad esempio a scavi di fondazioni, trincee stradali, canali, ecc. Per le fronti di scavo in miniere e cave, si rimanda invece, alla normativa specifica.

G.2.1. Verifiche di stabilità

La stabilità dei pendii è influenzata da numerosi fattori tra i quali è generalmente necessario prendere in considerazione:

- a. caratteristiche morfologiche;
- b. caratteristiche geologiche, e proprietà fisico-meccaniche dei terreni costituenti il pendio;
- c. caratteristiche e circolazione delle acque sotterranee: pressioni interstiziali e nelle discontinuità dei terreni costituenti il pendio;
- d. peso proprio ed azioni esterne applicate alle opere insistenti sul pendio;
- e. carattere sismico della zona;
- f. fattori ambientali.

G.2.2. Indagini specifiche.

Lo studio geologico comprenderà il rilevamento diretto delle discontinuità del

terreno (giunti di stratificazione, faglie, diaclasi e fratture) delle quali saranno determinate la distribuzione spaziale, la frequenza e le caratteristiche. Attraverso una analisi geomorfologica quantitativa del pendio e delle aree adiacenti, inoltre, si ricercheranno le indicazioni sulla franosità della zona e su natura, caratteristiche e grandezza dei movimenti verificatisi in passato.

La determinazione delle pressioni neutre va effettuata ponendo i piezometri in posizioni opportunamente scelte in relazione alle caratteristiche geometriche e stratigrafiche del pendio.

Le indagini di laboratorio saranno particolarmente dirette alla determinazione della resistenza al taglio, massima e residua.

Se la verifica di stabilità riguarda pendii naturali in frana, le indagini saranno dirette a definire la posizione e la forma delle eventuali superfici di scorrimento. Si prevederà a tal fine la posa in opera di basi e di picchetti ed il rilevamento periodico della loro posizione rispetto a capisaldi esterni all'area interessata dal movimento. Queste operazioni saranno volte a determinare la grandezza degli spostamenti e il loro andamento nel tempo, in relazione anche ai fattori meteorologici ed idraulici.

Quando risulti necessario rilevare gli spostamenti in profondità si metteranno in opera inclinometri o apparecchi rilevatori di scorrimenti profondi. Gli spostamenti in profondità saranno riferiti a quelli misurati in superficie.

G.3.1. Indagini specifiche.

In merito alle indagini specifiche da svolgere si precisa che:

- a. i rilievi topografici e lo studio geologico saranno estesi ad un'area più ampia di quella direttamente interessata ai lavori;
- b. le indagini geotecniche in sito saranno volte a riconoscere la costituzione del sottosuolo ed a determinare i valori della pressione dell'acqua interstiziale e nelle discontinuità. La profondità delle esplorazioni sarà stabilita in relazione a quella dello scavo, avendo cura di estendere l'indagine a monte del previsto ciglio ed al di sotto della quota di fondo scavo;
- c. le indagini geotecniche di laboratorio si svolgeranno secondo quanto indicato al punto G.2.2.

H.2. Indagini specifiche.

Al fine dell'accertamento della fattibilità dell'opera saranno raccolte informazioni atte a definire:

- le caratteristiche topografiche e geomorfologiche della zona;
- i caratteri delle acque superficiali e sotterranee;

- le caratteristiche ed il comportamento di manufatti esistenti nei dintorni.

Lo studio geologico definirà i lineamenti geomorfologici e la loro tendenza evolutiva, i caratteri stratigrafici e strutturali, il grado di alterazione, la degradabilità e la fessurazione degli ammassi rocciosi, nonché lo schema idrogeologico.

Lo studio geotecnico sarà atto a definire le proprietà fisico-meccaniche dei principali tipi di terreni, la posizione e le caratteristiche delle eventuali falde idriche. Per questo saranno eseguite indagini in sito e in laboratorio, secondo i criteri indicati nella sezione B, e proporzionate alla prevista destinazione dell'area. Sarà accertata l'eventuale esistenza di cavità naturali o artificiali nel sottosuolo, di dimensioni significative ai fini del progetto.

Nel caso di aree, che, in tutto o in parte, ricadano in specchi d'acqua marini, lacuali o fluviali, i predetti studi saranno estesi ai fondali e devono essere integrati dal rilievo della batimetria che comprenda anche le zone adiacenti, significative ai fini della destinazione dell'area.

H.3. Verifiche di fattibilità.

La verifica di fattibilità geologica e geotecnica comprende l'accertamento delle modifiche che il sistema di opere in progetto può indurre nell'area e deve precisare se le condizioni locali impongano l'adozione di soluzioni e procedimenti costruttivi di particolare onerosità.

Nel caso di pendii sarà accertata la stabilità di insieme con riferimento alla condizione precedente la realizzazione delle opere in progetto ed a seguito della costruzione di tali opere, secondo quanto prescritto nella sezione G.

Nel caso di reti idriche o fognarie, ed in genere di sottoservizi in zone già urbanizzate o da urbanizzare, sarà accertata l'influenza di esse sui manufatti esistenti, sia in fase di costruzione che di esercizio a seguito di guasti o rotture.

Per l'estrazione di liquidi o gas dal sottosuolo saranno valutate le deformazioni provocate dalle variazioni dello stato tensionale effettivo, i conseguenti spostamenti della superficie topografica e la loro influenza sulla stabilità e sulla funzionalità dei manufatti esistenti secondo quanto trattato nella sezione L.

I. Discariche e colmate.

In questa categoria rientrano gli accumuli di materiali sciolti di qualsiasi natura, inclusi quelli versati alla rinfusa (ad esempio, depositi di rifiuti urbani e industriali, materiali di risulta di scavi e demolizioni, discariche minerarie).

L'entità degli accertamenti e degli studi da svolgere va commisurata all'esigenza di sicurezza, all'importanza della discarica, alla morfologia della zona e alla presenza nel sottosuolo di terreni di bassa resistenza ed alle possibili influenze

sulla circolazione idrica superficiale e sotterranea e sulla quantità delle acque.

In merito ai "provvedimenti necessari per la stabilità nel tempo" si richiama la necessità di far ricorso ad una idonea strumentazione di controllo, laddove si presentino casi particolarmente importanti per altezze, volumi ed ubicazione del territorio.

Il richiamo delle norme all'aspetto idrogeologico riguarda principalmente possibili riflessi negativi dell'intervento sulla circolazione idrica nel sottosuolo.

L. Emungimenti da falde idriche

Il modello fisico assunto a base della progettazione delle opere e degli interventi sarà ottenuto da specifici studi idrogeologici e geotecnici.

N. Drenaggi e filtri

I manufatti indicati nella relativa norma hanno lo scopo di:

- abbassare il livello della falda idrica o ridurre il valore delle pressioni neutre nel sottosuolo o in manufatti di materiali sciolti;
- eliminare o ridurre le pressioni neutre a tergo di strutture di sostegno;
- consentire la filtrazione verso l'esterno di acque circolanti nel sottosuolo o in manufatti di materiali sciolti senza causare il sifonamento;
- interrompere l'eventuale risalita di acqua per capillarità.

I drenaggi ed i filtri, in relazione alle finalità per cui vengono realizzati, devono essere progettati in modo da soddisfare i seguenti requisiti:

- a. il materiale filtrante deve essere più permeabile del terreno con il quale è a contatto;
- b. la granulometria del materiale filtrante deve essere tale da evitare che particelle di terreno causino intasamento del filtro e del drenaggio;
- c. lo spessore dello strato filtrante deve essere sufficientemente elevato da consentire una buona distribuzione delle frazioni granulometriche nello strato stesso e deve essere definito tenendo conto anche dei procedimenti costruttivi.

Se i criteri di progetto sopra elencati non possono essere soddisfatti con un solo strato filtrante, sarà impiegato un tipo a più strati. Ciascuno strato filtrante nei riguardi di quelli adiacenti, sarà progettato alla stessa stregua di un filtro monostrato.

I tubi disposti nei drenaggi allo scopo di convogliare l'acqua raccolta devono essere dimensionati tenendo conto della portata massima ed i fori di drenaggio

dei tubi vanno dimensionati in modo da evitare che granuli del materiale filtrante penetrino nelle tubazioni stesse. I materiali naturali o artificiali da impiegare per la confezione di drenaggi e filtri, saranno formati da granuli resistenti e durevoli e non devono contenere sostanze organiche o altre impurità.

Le acque ruscellanti in superficie non devono penetrare entro i drenaggi e i filtri; esse devono essere regolate e raccolte mediante canalizzazioni.

Il terreno formante il piano di posa di drenaggio e filtri non deve subire rimaneggiamenti, deve essere sufficientemente consistente e se necessario costipato.

Durante la costruzione vanno eseguiti regolari controlli della granulometria del materiale impiegato.

Il materiale del filtro e del drenaggio va posto in opera evitando la separazione delle frazioni granulometriche,

O.Ancoraggi

O.1. Definizioni

Tiranti di ancoraggio:

elementi strutturali operanti in trazione atti a trasmettere forze al terreno. Sono elementi costitutivi del tirante: il dispositivo di ancoraggio e la piastra di ripartizione, l'armatura e la guaina; il dispositivo di ancoraggio. In base alla tensione nell'armatura si definiscono: pretesi: tiranti nella cui armatura viene indotta una forza di tesatura, pari a quella di esercizio; parzialmente pretesi: tiranti nella cui armatura viene indotta una forza di tesatura inferiore a quella di esercizio; non pretesi: tiranti nella cui armatura non viene indotta alcuna forza di tesatura.

Bulloni di ancoraggio:

tipi particolari di tiranti caratterizzati dall'armatura costituita da barre, dall'assenza di guaina, dalla limitata lunghezza e dall'impiego in ammassi rocciosi.

Chiodi di ancoraggio:

sono ancoraggi non pretesi costituiti da elementi strutturali operanti in un dominio di trazione e taglio. I chiodi sono formati da una barra (o da un profilato) di acciaio connessa per tutta la sua lunghezza con il terreno e priva di dispositivi di bloccaggio esterni.

O.2. Indagini specifiche

L'indagine va condotta sulle parti del suolo e del sottosuolo che interagiscono con il sistema di ancoraggi e con l'eventuale struttura ancorata.

L'indagine dovrà definire le situazioni topografica, geologica e geotecnica. Dovranno essere raccolti dati relativi ai caratteri geo-morfologici ed alle condizioni di stabilità generali della zona interessata dai lavori; ai caratteri litologici e strutturali dei terreni, al regime di circolazione ed alle caratteristiche chimiche delle acque del sottosuolo. In particolare l'indagine dovrà consentire di definire le proprietà fisiche e meccaniche dei terreni e delle rocce in sede con riferimento anche al loro comportamento nel tempo. Per il progetto e l'esecuzione degli ancoraggi si potrà fare riferimento a:
AICAP (1983). Ancoraggi nei terreni e nelle rocce - Raccomandazioni - Edizione provvisoria.