

FON01c01

CIRCOLARE MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI 6 NOVEMBRE 1967, N. 3797  
(PRES. CONS. SUPERIORE - SERVIZIO TECNICO CENTRALE)

ISTRUZIONI PER IL PROGETTO, ESECUZIONE E  
COLLAUDO DELLE FONDAZIONI

## 1. - CONSIDERAZIONI GENERALI

### 1. SCOPO E LIMITI DELLE ISTRUZIONI

Le presenti istruzioni stabiliscono i criteri e gli indirizzi di carattere generale da seguire nel progetto, nella esecuzione e nel collaudo delle fondazioni; la formulazione di dettaglio dei criteri e degli indirizzi medesimi resta affidata ai tecnici che concorrono alla realizzazione dell'opera nelle sue varie fasi.

Suggerimenti ed indicazioni a tale riguardo sono contenuti in fogli d'istruzione.

Le presenti istruzioni si applicano alle fondazioni di tutte le opere d'ingegneria civile, con esclusione delle dighe e traverse, argini ed opere di difesa fluviale. Per le zone classificate come sismiche debbono essere integrate da quanto stabilito dalle norme sulle costruzioni in zone sismiche.

### 2. CONTENUTO DELLE ISTRUZIONI

Le presenti istruzioni riguardano le fondazioni considerate nella loro funzione di elemento di trasmissione dei carichi e delle forze dal sovrastante manufatto al terreno, e reciprocamente il terreno di fondazione quale sede dell'opera.

Per quanto attiene al calcolo delle strutture costituenti la fondazione, ai relativi materiali, ai procedimenti e metodi costruttivi valgono le vigenti norme specifiche.

Le presenti istruzioni sono articolate nelle seguenti quattro parti:

- I - Considerazioni generali
- II - Progetto
- III - Costruzione
- IV - Collaudo

e si completano con fogli d'istruzione, che recano suggerimenti ed indicazioni particolari.

### 3. OPERATORI

All'applicazione delle presenti istruzioni sono tenuti quanti partecipano alla realizzazione della fondazione ed in particolare: a) Il committente.

L'ente, l'amministrazione o l'ufficio, che fa eseguire l'opera è tenuto a finanziare e far eseguire tutte le indagini, studi e rilievi, necessari per il progetto della fondazione, e a far progettare la fondazione unitariamente con tutta l'opera.

Le indagini, gli studi ed i rilievi dovranno essere ultimati con un congruo anticipo rispetto alla ultimazione del progetto.

Il committente affiderà le indagini, gli studi ed i rilievi di cui innanzi in tutto od in parte allo stesso progettista dell'opera o ad esperti.

b) Il progettista.

La fondazione è e deve essere considerata parte integrante dell'opera nel suo complesso e pertanto, nei limiti di applicazione delle presenti norme, deve essere progettata unitariamente con tutta l'opera.

Allorquando lo svolgimento di indagini, studi, rilievi, calcoli relativi alle fondazioni sia stato affidato in tutto o in parte ad esperti diversi dal progettista dell'opera, questi si assicurerà

della rispondenza delle citate operazioni alla finalità che egli intende raggiungere con il progetto e terrà conto dei relativi risultati nello svolgimento del progetto medesimo.

c) Gli esperti.

Possono essere:

- ingegneri esperti in meccanica dei terreni e tecnica delle fondazioni (geotecnica) per quanto attiene a saggi, indagini e prove in sito ed in laboratorio aventi lo scopo a definire caratteri geotecnici e proprietà fisicomeccaniche dei terreni di fondazioni, nonché di orientare sulla scelta del tipo di fondazione e dei relativi procedimenti costruttivi, a studi e calcoli specifici;

- ingegneri esperti in idraulica per particolari questioni derivanti dalla presenza, in prossimità dell'opera in progetto di condotti e canali di corsi d'acqua, di laghi, del mare;

- ingegneri esperti in geologia e geologi, allorquando si ravvisi la necessità di precisare la conoscenza in merito a origine e natura delle formazioni geologiche costituenti la zona, nella quale ricade l'area interessata alla costruzione dell'opera.

d) Il direttore dei lavori.

Di regola il direttore dei lavori sarà il medesimo per la fondazione e per il sovrastante manufatto. Ove, eccezionalmente ciò non si verifici, il direttore dei lavori dell'opera in elevazione è tenuto a svolgere tutti i rilievi e le indagini, che crederà opportuni, per assicurarsi della idoneità della preesistente fondazione.

e) Il costruttore.

Di regola la fondazione ed il sovrastante manufatto saranno realizzati dal medesimo costruttore. Allorquando per alcune parti della fondazione fosse previsto in progetto l'impiego di tecniche e procedimenti speciali, esse dovranno essere realizzate da un costruttore specializzato.

f) Il collaudatore.

La fondazione in tutte le sue parti sarà di regola collaudata unitariamente con il manufatto sovrastante.

#### 4. AGGIORNAMENTO DELLE ISTRUZIONI

Le presenti istruzioni saranno revisionate ed aggiornate ad intervalli di tempo non superiore di cinque anni; i fogli d'istruzione potranno essere modificati, soppressi, ampliati e potranno essere completati con nuovi fogli su altri argomenti ogni qualvolta se ne ravvisasse l'opportunità.

## II. - PROGETTO

### 1. FINALITÀ' DEL PROGETTO

La finalità del progetto è quella di definire la fondazione in tutte le sue parti in modo da assicurare un soddisfacente

comportamento del complesso manufatto-terreno di fondazione nei riguardi della sicurezza ed in relazione alla funzione che il manufatto dovrà assolvere. Il progetto comprende inoltre la definizione dei procedimenti e dei metodi di costruzione e ciò con particolare riguardo a quelli di carattere speciale che, eventualmente, si rendessero necessari per lo svolgimento dei lavori.

Nella stima dei lavori dovrà essere inserita una somma a disposizione del direttore dei lavori per indagini e prove in corso d'opera.

L'entità della somma dovrà essere commisurata alla importanza

dell'opera e alle condizioni ambientali.

## 2. SVOLGIMENTO DEL PROGETTO

Il progetto della fondazione comporta alcune fasi successive strettamente interdipendenti fra loro e cioè:

- a) indagini, rilievi, studi preliminari per individuare e valutare i fattori, di cui al successivo paragrafo II - 3;
- b) progetto d'insieme della fondazione, che comprende:
  - la scelta del tipo di fondazione;
  - la verifica di stabilità del complesso terreno-fondazione;
  - la scelta dei metodi e dei procedimenti costruttivi;
  - la determinazione dei cedimenti prevedibili;
  - il calcolo delle singole strutture della fondazione e progetto definitivo.

Queste fasi del progetto assumeranno a giudizio del progettista ampiezza e grado di approssimazione diversi secondo l'importanza del manufatto e dei vari fattori, elencati all'art. II - 3, come pure in relazione al grado di sviluppo previsto per il progetto (progetto preliminare; di massima; esecutivo).

## 3. FATTORI INFLUENZANTI IL COMPORTAMENTO DELLE FONDAZIONI

Il comportamento delle fondazioni è condizionato da numerosi fattori, dei quali si elencano quelli che più di frequente occorre considerare.

### 3.1. TERRENI DI FONDAZIONE

- natura dei terreni dal punto di vista geotecnico;
- successione e disposizione dei terreni nel sottosuolo;
- proprietà indici;
- proprietà meccaniche: caratteristiche relative alla deformabilità, alla resistenza a rottura ed alla permeabilità;
- presenza e caratteristiche delle acque sotterranee, a pelo libero e in pressione e caratteri degli eventuali movimenti di filtrazione.

### 3.2. OPERA IN PROGETTO

- forma, dimensioni d'insieme, tipo e caratteristiche strutturali;
- forze trasmesse alla fondazione;
- carattere delle forze statiche o dinamiche e loro modalità di applicazione.

### 3.3. FATTORI AMBIENTALI

- morfologia della superficie del suolo;
- decorso delle acque superficiali;
- presenza e 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.

Nel caso di ponti, opere marittime e simili assumono particolare importanza la configurazione ed il grado di mobilità dell'alveo fluviale o del fondo marino ed altresì la loro erodibilità in relazione al regime delle acque ed alle caratteristiche del manufatto.

## 4. INDAGINI E RILIEVI

### 4.1. GENERALITA'

Per individuare e valutare i fattori relativi ai terreni di fondazione (v. art. II, 3.1) e quelli ambientali (v. art. II, 3.3) verranno eseguiti indagini e rilievi.

Le indagini ed i rilievi saranno sviluppati con ampiezza diversa a seconda delle caratteristiche strutturali e delle dimensioni del manufatto, dei carichi da questo esercitati e delle caratteristiche dei terreni di fondazione.

Nel caso di modesti manufatti, che ricadono in zone già note, le indagini ed i rilievi potranno essere ridotti alla raccolta di notizie e dati in precedenza acquisiti.

In ogni caso, tutte le indagini ed i rilievi dovranno essere svolti prima che il progetto abbia inizio o contemporaneamente a questo, purché siano condotti a termine in tempo debito affinché il progettista dell'opera ne possa tenere conto. Ove fosse opportuno, le indagini ed i rilievi potranno essere eseguiti in più tempi intervallati fra loro.

#### 4.2. INDAGINI SUI TERRENI DI FONDAZIONE

Queste indagini hanno lo scopo di raccogliere gli elementi necessari per definire i fattori relativi ai terreni di fondazione (v. art. II, 3.2) e consistono in indagini in sito ed in indagini in laboratorio.

##### a) Indagini in sito.

Queste indagini avranno come primo e fondamentale scopo quello di stabilire la costituzione del sottosuolo dal punto di vista

geotecnico e di permettere il prelievo di campioni.

Esse consisteranno, in generale, in saggi di vario tipo - quali sondaggi, pozzi, trincee o cunicoli di esplorazione - dei quali sarà effettuata un'accurata descrizione in base ai criteri geotecnici di identificazione e classifica.

Nei casi più semplici potrà essere sufficiente la descrizione di fronti di scavo, trincee o simili esistenti nelle vicinanze.

La profondità da raggiungere con queste indagini sarà misurata a partire dalla quota più bassa, che sarà prevedibilmente raggiunta dalla fondazione (ad esempio, per le palificate a partire

dall'estremità inferiore dei pali). Essa sarà stabilita caso per caso in base alla forma, alle dimensioni e alle caratteristiche strutturali del manufatto, al valore dei carichi da trasmettere in fondazione ed alle caratteristiche degli stessi terreni di fondazione.

Nel caso di opere edili in prima approssimazione, la profondità minima da raggiungere con le indagini, può essere assunta pari a  $(1,5 \div 2) b$  ove  $b$  è lunghezza in metri del lato minore del rettangolo che meglio approssima la forma in pianta del manufatto. Nel caso di fondazioni su pali, la profondità d'indagine, computata dalla estremità inferiore dei pali in base ai precedenti criteri, potrà essere ridotta di  $1/3$ .

La profondità delle esplorazioni dovrà essere aumentata se si presume o si riscontra nel corso stesso delle indagini l'esistenza di terreni dotati di proprietà meccaniche particolarmente scadenti (scarsa resistenza a rottura, elevata compressibilità, come ad

esempio, nelle argille e nei limi molli, nelle torbe e nei materiali torbosi) o la presenza di cavità sotterranee.

La profondità delle esplorazioni potrà, invece, essere ridotta ove si incontrino terreni di caratteristiche meccaniche ottime ed uniformi e la cui presenza fino a profondità maggiori di quella strettamente necessaria risulti già accertata per altre vie.

Nel caso dei muri di sostegno, la profondità e l'estensione delle indagini si fisseranno tenendo presenti l'andamento e la ampiezza delle possibili superfici di scorrimento.

Le indagini per lo studio di fondazioni in condizioni

ambientali difficili o in terreni franosi o per opere molto complesse, dovranno essere programmate caso per caso. Altre indagini in sito, della cui opportunità si giudicherà di volta in volta, avranno finalità particolari come ad esempio:

- misurare in sito alcune proprietà meccaniche;
- controllare il comportamento di speciali tipi di fondazione (ad esempio, pali di prova);

- rilevare la costituzione del sottosuolo con metodi geofisici. Tutte le indagini dovranno essere eseguite con attrezzature adatte allo scopo e perfettamente efficienti e da personale specificatamente qualificato.

b) Indagini in laboratorio.

Le indagini in laboratorio avranno lo scopo di determinare:

- le proprietà indici per una completa identificazione e classifica geotecnica dei terreni;
- le proprietà fisico-meccaniche dei terreni.

Le prime potranno determinarsi sia su campioni rimaneggiati sia su campioni indisturbati; le seconde saranno determinate soltanto su campioni indisturbati.

Il programma delle indagini sarà stabilito dal progettista o da un ingegnere esperto in meccanica dei terreni o tecnica delle fondazioni (geotecnica).

## 5. STABILITA' E CEDIMENTI DEL TERRENO DI FONDAZIONE

### 5.1. STABILITA'

La stabilità del terreno sotto l'azione delle forze trasmesse dalla fondazione dovrà essere verificata secondo i metodi ed i procedimenti della meccanica dei terreni (geotecnica), tenendo conto dei risultati acquisiti con le varie indagini svolte. Dovrà, pertanto, essere determinato il carico limite del complesso terreno fondazione, da cui dovrà dedursi il carico di sicurezza con l'introduzione di un adeguato coefficiente. Questa verifica di stabilità dovrà di regola essere eseguita. Potrà essere omessa allorché il terreno di fondazione sia costituito da roccia compatta od in quei casi particolari nei quali i metodi ed i procedimenti citati non siano applicabili od anche quando si tratti di piccoli manufatti, che ricadano in zone già note dove una lunga o soddisfacente pratica locale indichi il tipo di fondazione adatto.

In tali casi dovrà essere espresso un giudizio sulla stabilità del complesso terreno-fondazione tenendo conto della natura dei terreni e degli altri fattori in gioco e procedendo, in quanto possibile, ad una valutazione per paragone.

Nel caso in cui la fondazione comporti muri di sostegno o fronti di scavo libero a carattere definitivo dovranno essere eseguite le relative verifiche di stabilità.

### 5.2. CEDIMENTI

Il calcolo dei cedimenti del piano di appoggio della fondazione conseguenti alle deformazioni del terreno per effetto dei carichi ad esso trasmessi dovrà essere eseguito ogni volta che con le indagini si sia accertata la presenza di strati molto compressibili, per cui si rende necessario valutare il comportamento statico delle strutture componenti il manufatto in elevazione tenendo conto dei cedimenti anzidetti; inoltre, quando siano imposti determinati limiti ai cedimenti del manufatto medesimo in dipendenza della funzione alla quale questo è destinato.

Il calcolo dei cedimenti verrà svolto secondo i metodi ed i procedimenti della meccanica dei terreni (geotecnica), tenendo

conto dei risultati acquisiti con le varie indagini svolte.

Nei casi in cui il calcolo dei cedimenti non venga eseguito, occorrerà tuttavia esprimere sul valore di questi un giudizio basato sulla compressibilità dei terreni, misurata direttamente o valutata sulla base delle proprietà indici.

## 6. ELABORATI DEL PROGETTO

Il progetto della fondazione deve essere redatto unitamente con quello del manufatto in elevazione. I disegni costruttivi ed i calcoli inerenti al dimensionamento delle strutture costituenti la fondazione dovranno far parte integrante dei disegni e dei calcoli relativi al manufatto in elevazione. Dovranno, inoltre, essere illustrati i criteri adottati nella scelta del tipo di fondazione, le ipotesi assunte, i calcoli svolti nei riguardi del complesso terreno-opera di fondazione. A tal fine si raccomanda di riportare detti elementi in un'apposita relazione sulla fondazione corredata da allegati (grafici e documentazione) in quanto necessari.

### III. - COSTRUZIONE

#### I. COMPITI DEL DIRETTORE DEI LAVORI

Salvo casi particolari la direzione dei lavori sarà svolta unitariamente per le opere in fondazione o in elevazione in conformità delle altre norme vigenti in materia.

All'atto dell'assunzione dell'incarico il direttore dei lavori dovrà prendere formale visione del progetto della fondazione.

Appena iniziati i lavori, controllerà la rispondenza fra lo stato effettivo dei luoghi e quello descritto in progetto e, ove lo ritenesse opportuno, farà eseguire saggi nei terreni di fondazione per prendere esatta cognizione dei terreni medesimi.

Nel caso in cui all'inizio o nel corso dei lavori il direttore ravvisasse la necessità di apportare modifiche non sostanziali al progetto, egli è tenuto a prenderne nota particolareggiatamente e, se necessario, mediante appositi grafici.

Particolare cura dovrà porre il direttore dei lavori nella definizione dei particolari esecutivi delle opere minori, come quelle per la raccolta, la canalizzazione e lo scarico delle acque superficiali, per i sottoservizi, per la sistemazione delle aree circostanti.

Nel corso dei lavori il direttore prenderà nota di tutti gli elementi, relativi alle caratteristiche dei terreni di fondazione che risultassero dalla esecuzione di scavi o da perforazioni per pali e, se necessario, farà eseguire le prove di laboratorio che riterrà opportune sui campioni prelevati, utilizzando la somma appositamente prevista in sede di progetto (v. art. II - 1). Per i manufatti di particolare importanza installerà punti di riferimento, dei quali verranno misurati in corso d'opera ed anche successivamente gli spostamenti per rapporto a caposalda fissi.

#### 2. COMPITI DEL COSTRUTTORE

All'atto della consegna dei lavori il costruttore dovrà prendere visione del progetto della fondazione e di tutti gli elaborati e dovrà assicurarsi che lo stato effettivo dei luoghi corrisponda a quello descritto in progetto e dovrà esaminare e valutare in tutti gli aspetti i metodi ed i procedimenti costruttivi prescritti in progetto.

Quanto ai metodi ed ai procedimenti costruttivi non prescritti in progetto, la scelta spetta al costruttore salvo l'approvazione del direttore dei lavori, che deciderà in via definitiva dopo aver esaminato la proposta e la documentazione presentata dal

costruttore.

Il costruttore è tenuto a verificare la stabilità e la efficienza di tutte le opere, strutture e procedimenti provvisori, come scavi liberi od armati, strutture di sostegno rigide e flessibili, rilevati ed argini, effetti di emungimenti ed abbassamenti di falda e così via, e ciò anche nei riguardi dei manufatti già esistenti in prossimità dell'opera in costruzione.

Qualsiasi variante proposta dal costruttore al progetto delle fondazioni o ai metodi costruttivi prescritti in progetto che rientri nell'ambito della discrezionalità del direttore dei lavori ai sensi del regolamento n. 35 del 25-5-1895, dovrà essere giustificata e documentata tecnicamente mediante uno specifico studio.

#### IV.- COLLAUDO

L'atto formale, conclusivo di collaudo dell'intero manufatto dovrà fare espressa menzione della fondazione e della sua accettabilità.

A tal fine il collaudatore accerterà nei limiti del possibile la rispondenza dell'opera al progetto ed alle eventuali successive modifiche apportate in corso d'opera e ciò sia dal punto di vista geotecnico che per quanto riguarda il tipo delle strutture e la loro esecuzione, con particolare riferimento del comportamento dell'opera in relazione alla reazione del terreno di sedime; prenderà nota delle varianti apportate, accerterà l'efficiente sistemazione delle opere minori, come i sottoservizi e la canalizzazione delle acque superficiali.

Per le opere di maggiore importanza, o per quelle che richiedono delle fondazioni di particolare difficoltà, dovrà essere nominato un collaudatore in corso di opera.

#### FOGLIO ISTRUZIONI N. 1

#### INDAGINI SUI TERRENI DI FONDAZIONE

##### 1. SCOPO DELLE INDAGINI

Le indagini hanno lo scopo di accertare tipo, natura, successione e proprietà fisiche dei terreni di fondazione e tutti gli altri elementi necessari per lo studio del progetto.

In corso d'opera le indagini hanno lo scopo di controllare le previsioni formulate in progetto e di raccogliere altri dati.

Al termine dei lavori le indagini possono servire per verificare il comportamento dell'opera costruita.

##### 2. PROGRAMMA DELLE INDAGINI

Il programma delle indagini deve essere proporzionato al tipo, alle caratteristiche strutturali ed all'importanza dell'opera da costruire ed allo stato delle conoscenze sulla zona in cui ricade la costruzione.

Non è possibile stabilire delle regole o dare dei suggerimenti in merito allo sviluppo che le indagini devono avere.

In generale è preferibile che l'indagine sia ampia anche oltre lo stretto necessario, ma si deve in ogni caso evitare di

raccogliere un numero eccessivo di dati che non possono essere utilizzati e che talvolta portano il progettista a perdere la visione generale del problema.

Per lo studio di fondazioni di opere speciali (camini, serbatoi sopraelevati, torri piezometriche, silos, ecc.) e per le costruzioni in zone sismiche o franose, o generalmente difficili la progettazione delle indagini potrà essere affidata ad esperti i

quali dovranno lavorare in stretta collaborazione con il progettista.

Le indagini dovranno essere dirette e seguite dal progettista e dagli esperti i quali, se necessario, modificheranno il programma delle indagini stesse sulla base dei dati mano a mano raccolti.

### 3. MEZZI DI INDAGINE

#### 3.1. RILIEVI DI SUPERFICIE

Consistono nell'esame a vista della zona sede della costruzione e degli eventuali scavi, trincee e fronti naturali esistenti nelle immediate vicinanze, nonché nella raccolta delle notizie e dei dati relativi a: tipo e caratteristiche delle costruzioni vicine, acque superficiali e del sottosuolo, vuoti sotterranei, ecc. I dati raccolti con i rilievi di superficie possono servire per l'inquadramento e l'interpretazione dei dati forniti da indagini più approfondite.

#### 3.2. POZZI, CUNICOLI, TRINCEE

Si ricorre a questi metodi di indagine quando sia necessario un esame a vista del terreno dell'immediato sottosuolo con prelievo di campioni indisturbati o disturbati, quando si vogliano controllare situazioni già note, o quando siano da eseguire prove in sito.

#### 3.3. SONDAGGI

##### 3.3.1 - TIPO DEI SONDAGGI

I sondaggi consentono di riconoscere la successione e la natura dei terreni del sottosuolo di prelevare campioni (rimaneggiati e indisturbati) dei terreni stessi.

A seconda del tipo di attrezzature si distinguono in sondaggi a percussione e sondaggi a rotazione.

Il metodo a percussione viene impiegato specialmente per sondaggi non molto profondi (m 30-40) in terreni sciolti, incoerenti e a grana grossa (sabbie e ghiaie).

I sondaggi a rotazione si eseguono sia nelle rocce sia nelle terre e possono raggiungere profondità considerevoli (oltre m 100). Per indagini superficiali (fino a qualche metro di profondità) possono essere impiegate trivelle a mano o a motore che consentono di prelevare campioni disturbati. I sondaggi dovranno essere eseguiti da personale qualificato e dotato di notevole esperienza in grado di registrare i fatti salienti occorsi durante la trivellazione.

Nel corso dell'esecuzione si dovrà osservare la presenza di acque del sottosuolo, il livello da essa assunto e le variazioni di questo nel tempo.

##### 3.3.2 - PROFONDITA' E NUMERO DEI SONDAGGI

La profondità dei sondaggi deve essere stabilita in rapporto alle dimensioni, alle caratteristiche strutturali e all'importanza dell'opera, all'entità dei carichi trasmessi e alla complessività dell'ambiente geologico.

La lunghezza dei sondaggi deve essere fissata con il criterio di investigare il sottosuolo fino alla profondità alle quali le tensioni indotte dal manufatto sono di entità tali da produrre apprezzabili deformazioni del terreno.

Alcuni criteri empirici per stabilire la profondità dei sondaggi sono riportati al punto II - 4.2. delle istruzioni.

Il numero dei sondaggi sarà stabilito in base alle dimensioni e al tipo del manufatto ed alla complessività dell'ambiente in cui il



manufatto stesso ricade. In generale sarà in ogni caso opportuno eseguire almeno 3 sondaggi.

### 3.3.3 - DIAMETRO DEI SONDAGGI

Il diametro dei sondaggi deve essere stabilito in modo da ottenere campioni effettivamente rappresentativi dei terreni attraversati.

Per i sondaggi a percussione, eseguiti in terreni ghiaiosi, il diametro deve essere stabilito in rapporto alla massima dimensione degli elementi che costituiscono il terreno. E' comunque

consigliabile adottare diametri non minori di mm 200.

Nei sondaggi a rotazione il diametro minimo consigliabile è di mm 100.

### 3.4. METODI GEOFISICI

Sono metodi di indagine indiretti, basati sulla determinazione di una qualche caratteristica fisica (velocità di propagazione delle onde elastiche, resistività elettrica, densità, ecc.) dei terreni. Consentono di estendere il quadro delle conoscenze sul sottosuolo ottenuto con altre indagini.

L'impiego di tali metodi è di regola riservato allo studio di opere particolarmente importanti e che coprono aree molte estese.

I metodi geofisici più largamente impiegati nel campo dei lavori di ingegneria civile sono quelli della "sismica a rifrazione" e quello dei "sondaggi elettrici verticali".

### 3.5. PROVE PENETROMETRICHE

In generale tali prove consistono nella determinazione della resistenza alla infissione nel terreno di utensili di forma e dimensioni varie.

A seconda delle modalità esecutive si dividono in: prove statiche, prove dinamiche.

Nelle prove statiche la forza necessaria per infiggere l'utensile viene applicata per mezzo di un martinetto contrastato da un'incastellatura fissata al suolo ed eventualmente zavorrata.

Nelle prove dinamiche la infissione viene ottenuta per mezzo di una serie di colpi di un maglio che cade guidato verticalmente per una data altezza. Nelle prime la misura della resistenza all'infissione si ricava dalla forza applicata all'asta del penetrometro, nelle seconde dal numero di urti della massa battente per la infissione dell'utensile per una data lunghezza.

Queste prove forniscono principalmente dati sullo stato di addensamento dei terreni sabbiosi e sulla consistenza dei terreni argillosi.

La resistenza alla infissione, diagrammata in funzione della profondità, da i "profili penetrometrici". Questi interpretati con i dati forniti da sondaggi, per quanto riguarda la natura dei terreni, e da prove di laboratorio, per quanto riguarda le proprietà meccaniche, permette di completare le conoscenze sulle caratteristiche geotecniche del sottosuolo.

Questi dati possono essere utilizzati direttamente per il progetto delle fondazioni soltanto nelle zone in cui siano già note, in generale, le proprietà dei terreni e se possono essere interpretati sulla base dell'esperienza ottenuta per mezzo di prove eseguite con apparecchiature e procedure identiche.

Le prove penetrometriche trovano particolare applicazione per il completamento dei dati di altre indagini in aree estese in quanto permettono di controllare rapidamente ed economicamente le caratteristiche di uniformità del sottosuolo, di riconoscere la presenza, di terreni di elevata consistenza o di sabbie o ghiaie ben addensate tra materiali a grana fine e la profondità di un basamento lapideo sotto la coltre di terreni sciolti.

L'attendibilità dei risultati delle prove penetrometriche è limitata al campo delle indagini fino a profondità dell'ordine di una decina di metri, per quelli dinamici, e di 20, 30 metri, per quelli statici.

#### 4. PRELIEVI DI CAMPIONI

##### 4.1. MODALITA' DI PRELIEVI

Il prelievo di campioni rimaneggiati (campioni del terreno in sede che non hanno subito modifiche della porosità, del contenuto d'acqua naturale e della consistenza) non presenta particolari difficoltà e non richiede il ricorso ad attrezzature e tecniche particolari.

In pozzi, cunicoli, trincee è possibile il prelievo di campioni indisturbati (che conservano cioè la porosità il contenuto d'acqua e l'eventuale consistenza del terreno nella sua sede) direttamente dalle pareti esposte, mediante l'isolamento di blocchi di adeguate dimensioni (vedi n. 5.4.) o la infissione di cilindri a bordi tagliati.

Da sondaggi a rotazione o a percussione, il prelievo di campioni indisturbati si esegue mediante appositi attrezzi (campionatori) i quali inseriscono il campione direttamente entro astucci cilindrici.

Il tipo di campionatore deve essere scelto in relazione alle esigenze del problema e al tipo di terreno.

A meno di non ricorrere a tecniche particolari ed a strumenti speciali non è di regola possibile prelevare campioni indisturbati di terre incoerenti al disotto del livello delle acque del sottosuolo.

E' da avvertire che il prelievo di campioni indisturbati è un'operazione estremamente delicata e deve essere eseguita da personale altamente specializzato con la massima attenzione.

##### 4.2. NUMERO DI CAMPIONI

Per ogni sondaggio si dovranno estrarre campioni rimaneggiati in numero sufficiente a ricostruire la successione dei terreni nel sottosuolo.

Il numero di campioni indisturbati per la determinazione delle caratteristiche fisiche dovrà essere proporzionato alla complessità dell'ambiente geologico, all'importanza dell'opera, alla fase del progetto.

In un sottosuolo costituito da diversi tipi di terreni si dovrà se possibile, prelevare almeno un campione indisturbato per ciascun tipo di terreno.

In un sottosuolo costituito da un unico terreno il numero di campioni deve essere sufficiente per individuare come variano le caratteristiche tecniche del terreno in funzione della profondità.

##### 4.3. DIMENSIONI DEI CAMPIONI

Le dimensioni dei blocchi prelevati da pozzi, cunicoli, ecc., dovranno essere stabilite di volta in volta in funzione della granulometria del terreno. In ogni caso è opportuno che esse non siano minori di cm 20 x 20.

I campioni indisturbati estratti dai sondaggi devono avere un diametro non inferiore ai mm 100 ed altezza di cm 35-40.

Per l'esecuzione di particolari prove possono essere adottati diametri maggiori o minori.

Comunque le dimensioni dei campioni e la tecnologia di prelievo devono essere concordate col laboratorio che eseguirà le prove.

##### 4.4. CONSERVAZIONE DEI CAMPIONI

I campioni dopo estratti, devono essere sigillati e conservati in modo che mantengano invariati il loro contenuto in acqua e la loro struttura.

I campioni in blocco devono pertanto essere accuratamente paraffinati; quelli contenuti in tubi metallici dovranno essere sigillati; la superficie esterna del contenitore dovrà essere paraffinata.

Se i campioni indisturbati non devono essere immediatamente fatti pervenire al laboratorio prove, essi dovranno essere conservati in locali protetti dal gelo ed a distanza da fonti di calore intenso.

I campioni disturbati e rimaneggiati dovranno essere conservati in cassette o barattoli e non dovranno essere esposti all'azione degli agenti atmosferici.

Su ciascun campione dovranno essere riportati i dati necessari per stabilire:

- la località di prelievo;
- la quota di prelievo;
- il numero del sondaggio o del pozzo;
- l'indicazione della direzione di prelievo.

#### 5. PROVE IN SITU

Si può ricorrere a prove in situ per la determinazione delle proprietà fisico meccaniche dei terreni nei casi in cui sia particolarmente difficile il prelievo di campioni indisturbati (ad esempio, sabbie o ghiaie incoerenti, tufi vulcanici incoerenti, torbe e materiale di riporto, argille scagliose) sui quali eseguire le prove di laboratorio, oppure quando si voglia verificare il comportamento di strutture di fondazione (ad esempio, prova di carico su pali).

Per le modalità esecutive e l'interpretazione di tali prove si veda l'apposito foglio di istruzioni.

#### FOGLIO DI ISTRUZIONE N. 2.

#### RELAZIONE SULLA FONDAZIONE

1. - Con riferimento a quanto stabilito nell'art. II-6 delle istruzioni si riportano gli argomenti, che in generale devono essere trattati nella relazione sulla fondazione.

a) Dati di carattere generale:

- località nella quale sarà costruita l'opera; riferimenti geografici, topografici, morfologici ed altri fattori ambientali;
- acque superficiali: loro entità e possibilità di deflusso in canalizzazioni naturali ed artificiali;
- notizie su manufatti esistenti nelle vicinanze (edifici, canali, acquedotti, fogne, strade, muri di sostegno, gallerie) con particolare riguardo, in quanto possibile, alle fondazioni ed alle loro condizioni statiche;
- notizie sui sottoservizi esistenti o in progetto, nei loro elementi essenziali ed in rapporto alla fondazione in progetto.

b) Caratteristiche dell'opera in progetto.

Strutture, tipo e dati essenziali relativi al manufatto in elevazione; forze trasmesse in fondazione e loro carattere; strutture previste per la fondazione e relative quote e dimensioni; materiali costruttivi, metodi e procedimenti di costruzione previsti per la fondazione e loro giustificazione.

c) Terreni di fondazione.

cl. - Identificazione e classificazione geotecnica; successione dei terreni nel sottosuolo; consistenza e compattezza; eventuali cavità naturali o artificiali; presenza e caratteristiche delle

acque sotterranee a pelo libero ed in pressione e degli eventuali movimenti di filtrazione.

c2. - Proprietà meccaniche dei terreni: esplorazione, indagini in sito e loro finalità, attrezzature e tecniche adottate, campionamento e relativi risultati; indagini in laboratorio e loro finalità; tecnica sperimentale e risultati; conclusioni sulle proprietà meccaniche dei terreni di fondazione in relazione alle finalità da raggiungere con il progetto.

d) Stabilità delle fondazioni e cedimenti.

Carico limite del complesso terreno-opera di fondazione, determinato mediante calcoli (ipotesi, valori dei parametri, risultati, sviluppi) e, nel caso di piccoli manufatti, valutato per paragone con opere analoghe della fondazione e conclusioni sulla stabilità di questa.

Quando si renda necessario la valutazione dei cedimenti verranno esposti le ipotesi, lo sviluppo dei calcoli ed i risultati ottenuti.

e) Prescrizioni e controlli:

- su misure e prove da eseguirsi in corso d'opera e ad opera ultimata;

- su procedimenti costruttivi o sull'andamento dei lavori.

f) Altre opere.

Caratteristiche geometriche e strutturali di eventuali opere e strutture di sostegno e rispettive verifiche di stabilità; fronti di scavo a carattere definitivo e loro sistemazione.

1. - La trattazione dei singoli argomenti sarà proporzionata all'importanza del manufatto in progetto ed alle difficoltà derivanti dalla natura dei terreni di fondazione. Comunque, gli argomenti in a), b) e c1) dovranno essere trattati in tutti i casi; gli argomenti di cui in c2), d) e), f) potranno invece essere sviluppati in diversa misura ed al limite omissi.

2. - La relazione sulla fondazione dovrà essere completata, in quanto necessario per la precisa intelligenza del progetto, dai seguenti allegati:

a) grafici, di cui si elencano i principali:

- planimetria di insieme quotata nella quale sia riportato l'andamento della superficie topografica con le particolarità significative, il manufatto in progetto ed i manufatti eventualmente preesistenti nelle vicinanze, nonché la posizione dei saggi eseguiti per le indagini in sito;

- una o più piante dettagliate dell'opera di fondazione;

b) documentazione sulle indagini eseguite in sito ed in laboratorio.

La relazione sulla fondazione sarà redatta dal progettista dell'opera considerata nel suo complesso (in elevazione ed in fondazione). Ove il committente e lo stesso progettista si siano avvalsi della collaborazione di ingegneri, di tecnici specializzati e di laboratori universitari per lo studio di alcuni e di tutti gli argomenti oggetto della relazione, è ammessa la presentazione di relazioni degli anzidetti ingegneri, tecnici specializzati e laboratori purché il progettista dell'opera nel suo complesso dichiari di far proprie le conclusioni delle citate relazioni e di averne tenuto conto nella progettazione dell'opera.

FOGLIO DI ISTRUZIONE N. 3.

TERMINOLOGIA

Angolo di attrito. - Angolo che la tangente alla curva limite forma con l'asse delle ascisse.

Campionatore. - Utensile per il prelievo di campioni di terreno.

Campione indisturbato. - Campione che conserva la tessitura, la struttura, il contenuto d'acqua e l'eventuale consistenza propri del terreno nella sua sede.

Campione rimaneggiato. - Campione di un terreno, che ha subito qualche modifica delle sue caratteristiche durante le operazioni compiute per il suo prelievo.

Carico limite  $Q_f$  o  $q_f$  (t o t/mq). - Il valore del carico che determina la rottura del terreno di fondazione.

Carico di sicurezza  $Q_a$  o  $q_a$  (t o t/mq). Valore del carico totale o unitario, trasmesso al terreno, che viene adottato nel progetto della fondazione in modo da garantire la sicurezza dell'opera tenuto conto di tutti i fattori che ne possono influenzare il comportamento.

Coerente. - Terra (o terreno) che, allo stato secco, presenta una resistenza alla trazione apprezzabile; ma che in presenza di acqua, in quantità sufficiente, perde tale proprietà.

Coesione  $c$  (ton/mq). - Ordinata della curva limite in corrispondenza di un valore nullo della pressione normale. Può essere quindi interpretata come resistenza al taglio (riferita all'unità di area) di una terra o di un terreno quando la componente normale della forza agente è nulla.

Compattezza  $D_r$ . - Proprietà del terreno definita dall'indice adimensionale:

$$D_r = \frac{n_{\max} - n}{n_{\max} - n_{\min}}$$

Composizione granulometrica. - Distribuzione dei diametri dei grani, che compongono una terra. Si rappresenta con la curva granulometrica, in cui sulle ascisse, la percentuale in peso, riferita al peso totale del campione di terra essiccata, dei grani di diametro inferiore al valore della ascissa corrispondente.

Consistenza. - Proprietà del terreno definita dall'indice adimensionale:

$$I_c = \frac{W_l - W_n}{I_p}$$

Contenuto d'acqua  $w$ . - Rapporto tra il peso dell'acqua contenuta nel materiale e che si libera per essiccamento fino a peso costante in stufa a 105-110 ed il peso del materiale essiccato (vedi istruzioni C.N.R., UNI n. 10008).

Contenuto naturale d'acqua  $W_n$ . - Contenuto d'acqua del materiale in sito.

Curva limite. - Luogo dei punti le cui coordinate  $p_f$ ,  $\tilde{\sigma}$  rappresentano le tensioni tangenziali e normali agenti sulla superficie di rottura. Quando alla curva limite è possibile sostituire una retta questa è espressa analiticamente dalla relazione di Coulomb:

$$p_f = c + \tilde{\sigma} \tan \varphi$$

Fondazione. - Parte del manufatto avente la funzione di trasmettere al terreno il peso della struttura e le altre forze esterne.

Geotecnica (meccanica dei terreni, tecnica delle fondazioni e costruzioni di terra). - Disciplina dell'ingegneria, che studia le proprietà fisiche dei terreni ed i fenomeni che in questi hanno luogo in relazione a problemi d'ingegneria sia quando i terreni medesimi si trovino in sede, sia quando vengono impiegati come materiali da costruzione.

Oggetti della geotecnica sono pertanto: le teorie intese a

definire il comportamento del complesso terreno-opera di fondazione e delle costruzioni in terra (terrapieni, arginature, dighe di materiali sciolti e simili), nonché la stabilità delle formazioni naturali; i metodi sperimentali; i procedimenti tecnologici.

Grani. - Le singole parti solide che sono separabili senza bisogno di esercitare frantumazione.

Incoerente. - Terra (o terreno) che allo stato secco è priva di apprezzabile resistenza alla trazione e che si disgrega sotto la minima pressione delle dita.

Indice di plasticità  $I_p$ . Definito dalla relazione:  $I_p = W_l - W_p$  Indice della porosità  $c$ . - Rapporto tra il volume dei pori esistenti in un campione di terra ed il volume della sola parte solida.

Limiti di consistenza. - Contenuti d'acqua corrispondenti a determinate consistenze assunte convenzionalmente per delimitare gli stati liquido, plastico, semisolido e solido di una terra. Tali limiti sono rispettivamente:

- limite di liquidità:
- limite di plasticità.

Limite di liquidità  $W_l$ . - Contenuto d'acqua di una terra assunto convenzionalmente quale limite tra lo stato liquido e lo stato plastico.

Per i contenuti d'acqua superiori al limite di liquidità il materiale sotto minimo sforzo esterno può fluire come un liquido; per contenuti d'acqua inferiori esso passa allo stato plastico, cioè si lascia modellare.

Tale limite viene determinato mediante una prova convenzionale e standardizzata eseguita con l'apparecchio di Casagrande (vedi istruzioni C.N.R. - UNI n. 10014).

Limite di plasticità  $W_p$ . - Contenuto d'acqua di una terra assunto convenzionalmente come limite tra lo stato plastico e lo stato semisolido.

Viene determinato mediante una prova convenzionale e standardizzata (vedi istruzioni C.N.R. - UNI n. 10014).

Peso specifico dei grani  $\gamma_s$  (ton/mc). - Rapporto fra il peso dei grani di una terra ed il volume totale dei grani stessi, (vedi istruzioni C.N.R. - UNI n. 10013).

Peso dell'unità di volume  $\mu$  (ton/cm). - Rapporto fra il peso di un campione di terra ed il suo volume totale.

Porosità  $n$ . - Rapporto tra il volume dei vuoti contenuti in un campione di terra ed il volume totale del campione stesso.

Porosità  $n_{max}$ . - Porosità della terra nello stato di minimo addensamento.

Porosità minima  $n_{min}$ . - Porosità della terra nello stato di massimo addensamento.

Pressione effettiva  $\bar{\sigma}$  (ton/mq). - Rapporto fra la componente normale della forza che si trasmette attraverso i grani, compresi in un elemento di superficie passante per un punto e l'area dell'elemento stesso.

Pressione neutra  $u$  (ton/mq). - Pressione dell'acqua o dell'aria che occupano i pori del terreno nel punto che si considera.

Pressione totale  $\bar{\sigma}$  (ton/mq). - Rapporto fra la componente normale della forza trasmessa complessivamente dai grani e dall'acqua compresi in un elemento di superficie passante per un punto e l'area dell'elemento stesso. La pressione totale è la somma della pressione effettiva e della pressione neutra.

Proprietà indici. - Le proprietà che si assumono per individuare e caratterizzare una terra o un terreno dal punto di vista geometrico. Le principali sono la composizione granulometrica, i limiti di consistenza, il peso dell'unità di volume.

Resistenza alla compressione e dilatazione trasversale libera  $\bar{\sigma}_f$  (ton/mq). - Carico unitario di rottura in una prova di

compressione a dilatazione trasversale libera.

Resistenza a rottura  $\rho_f$  (ton/mq). - Capacità di una terra di resistere a sforzi tangenziali. Per un generico valore della sollecitazione normale essa è rappresentata dalla corrispondente ordinata della curva limite.

Roccia. - Materiale, che in campioni al di fuori della sede naturale risulti dotato di elevata coesione anche dopo prolungato contatto con acqua.

Struttura del terreno. - Caratteristiche macroscopiche di un terreno rilevabili in sede o su grandi campioni (ad esempio: stratificazione e laminazione).

Superficie di rottura. - Luogo dei punti del terreno nel quale il valore della risultante degli sforzi tangenziali applicati eguaglia il valore delle resistenze a rottura.

Terra. - Materiale, che in campioni al di fuori della sede naturale risulti dotato di elevata coesione anche dopo prolungato contatto con acqua.

Terreno. - Roccia e terra nella sua sede naturale.

Terreno di fondazione. - Terreno compreso in quella parte del sottosuolo, entro cui sono significative ai fini tecnici le tensioni e le deformazioni indotte dalle forze trasmesse dalla fondazione.

Tessitura. - Indica le caratteristiche di forma, dimensioni, disposizione e stato di aggregazione dei costituenti di una terra o di un terreno.

---