

Rassegna delle norme italiane di ingegneria geotecnica

R. JAPPELLI *

SOMMARIO: Dopo un cenno alle principali questioni che si pongono per la redazione di una normativa nel settore dell'ingegneria geotecnica, si passano in rassegna le più importanti norme ed istruzioni italiane per gli aspetti che rientrano nella materia. Di ciascun documento, pubblicato o in corso di redazione da parte di organi di stato o associazioni culturali, si riporta un riassunto che pone in risalto le disposizioni più significative per le applicazioni. Un esame comparativo dimostra l'esigenza della revisione e del coordinamento della complessa materia per un allineamento alle disposizioni vigenti all'estero, anche in previsione dell'attività che la Comunità ha intrapreso per proporre una moderna normativa geotecnica a livello europeo.

Allo sviluppo delle discipline geotecniche, organizzate in un corpo di nozioni, ormai largamente consolidate, che trovano applicazione in ogni campo dell'ingegneria civile, si accompagna la crescente tendenza, da tempo manifestatasi nei paesi più sviluppati, all'emanazione di norme e regolamenti nei più vari settori applicativi.

Lo sviluppo ed i limiti della normativa sono stati e sono tuttora oggetto di interessanti dibattiti nell'ambito delle numerose commissioni impegnate in questo lavoro ed in occasione di convegni scientifici e tecnici sulla disciplina. Le opinioni sono divise fra quelle di coloro che sostengono l'opportunità di emanare una normativa geotecnica molto dettagliata e rigorosa e le tesi contrarie di chi ritiene limitativo imporre un vincolo alla ricerca progettuale, che dovrebbe invece svilupparsi liberamente.

La normativa disponibile all'estero è molto ampia ed è stata redatta per differenti finalità da organi statali, istituti di ricerca, associazioni culturali, in forma di leggi, istruzioni, raccomandazioni, capitoli. Inoltre, essa è sottoposta a frequente revisione.

In Italia, l'esigenza di una normativa geotecnica è emersa solo in tempi recenti. I testi disponibili, ancorché parziali e disorganici, toccano già molti aspetti della materia e delle sue applicazioni. Si avverte, tuttavia, la necessità di un coordinamento e di un'interpretazione, che non sempre risulta agevole ed immediata.

L'occasione di sviluppare l'argomento si è offerta recentemente a seguito dell'iniziativa dell'Associazione Geotecnica Italiana di stimolare la Società Internazionale di Meccanica dei

Terreni a costituire una commissione di studio per la redazione di una normativa geotecnica che possa valere come riferimento per la preparazione dei codici in corso di elaborazione nell'ambito dei paesi che costituiscono la Comunità Europea.

In previsione di tali sviluppi si è ritenuto utile redigere la presente rassegna della normativa geotecnica italiana per invitare i tecnici a riflettere sull'argomento e raccogliere le opinioni dei soci dell'A.G.I. sui criteri da seguire per la revisione ed il coordinamento della complessa materia e per verificare la possibilità che l'A.G.I. si faccia promotrice di un'organica collezione di norme ed istruzioni in tema di ingegneria geotecnica.

L'inizio dell'attività sul tema delle norme, istruzioni e raccomandazioni in campo geotecnico risale in Italia all'epoca (1960) in cui l'Associazione Geotecnica Italiana (A.G.I.) istituì una prima Commissione per lo studio dell'argomento, limitandone però i compiti a questioni di nomenclatura e classifica [A.G.I., 1963].

In tempi più recenti, l'A.G.I. ha riconsiderato l'argomento in un quadro più generale. Un'apposita commissione ha compilato nel 1977 un volume di raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche [A.G.I., 1977]. Un secondo quaderno, scaturito da numerosi incontri fra tecnici specializzati sull'argomento, è stato dedicato alle modalità per la confezione e l'impiego del calcestruzzo proiettato [A.G.I., 1975].

Un'altra commissione si è recentemente posta al lavoro per la messa a punto di raccomandazioni sul progetto, la costruzione e il collaudo di pali e micropali [A.G.I., 1981].

Altre associazioni culturali hanno recentemente intrapreso studi per istruzioni e raccomandazioni, che interessano l'ingegneria geo-

* Prof. ing. Ruggiero JAPPELLI, Istituto di *Ingegneria Geotecnica e Mineraria*, Università di Palermo; membro del Working Group on EC 7, Foundations.

tecnica. In particolare, l'Associazione Italiana per il Cemento Armato Precompresso (A.I.C.A.P.) ha costituito una commissione per la redazione di istruzioni per il progetto, la costruzione ed il collaudo di ancoraggi nei terreni e nelle rocce [A.I.C.A.P., 1981].

Il Consiglio Nazionale delle Ricerche (C.N.R.) ha intrapreso fin dal 1964 un'attività in tema di norme geotecniche, affidando alle proprie commissioni consultive permanenti il compito di redigere istruzioni, ma limitandone l'oggetto a questioni di dettaglio, riferite prevalentemente a problemi geotecnici stradali [C.N.R., 1964-1978]. Il medesimo C.N.R., tramite l'attuale Commissione di Studio per la Geotecnica Applicata alla Stabilità del Territorio e delle Costruzioni, è intervenuto con il proprio parere, come per legge, sul testo delle norme emanate dal Ministero dei Lavori Pubblici (LL.PP.), che ha svolto in Italia l'attività più intensa sui temi fondamentali della progettazione geotecnica e delle costruzioni. Più precisamente, il Ministero ha inizialmente prodotto sull'argomento una *Circolare* per diramare ai propri uffici centrali e periferici specifiche istruzioni per il progetto, la costruzione ed il collaudo di opere di fondazione [LL.PP., 1967]. Lo stesso Ministero ha emanato nel 1974 un *Decreto* per la regolamentazione di tutta l'attività nel settore delle costruzioni [LL.PP., 1974]. In seguito a tale decreto, che fra gli altri settori dell'ingegneria civile considera la Geotecnica in posizione di primo piano, sono state emanate norme — per la regolamentazione di particolari tipi di costruzioni — fra le quali, nel corrente anno un altro *Decreto* dedicato questa volta esclusivamente all'Ingegneria Geotecnica [LL.PP., 1981] (1).

Quest'ultimo decreto riguarda 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 ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. La norma si riferisce a tutti i manufatti di ingegneria civile, ad esclusione delle dighe e traverse, che sono oggetto in Italia di apposito regolamento [LL.PP., 1981].

Nei Decreti che si riferiscono ai manufatti speciali, come i ponti [LL.PP., 1980], le questioni relative alle fondazioni sono rimandate alla normativa geotecnica citata.

Al Decreto del 1981 si accompagna un foglio di istruzioni, che lo stesso Ministero ha emanato sotto forma di *Circolare* [LL.PP., 1981].

È opportuno segnalare anche che alcune Regioni hanno emanato o si accingono ad emana-

re, in tema di territorio e di tutela dell'ambiente fisico naturale, norme ed istruzioni per varie finalità, che interessano molto da vicino la geotecnica delle grandi aree.

Si ricorda, infine, che una gran parte del territorio italiano è sismicamente attivo; la progettazione e la costruzione di manufatti in zone dichiarate sismiche è regolata da apposito Decreto [LL.PP., 1975].

In appendice si riportano l'elenco ed una sintesi del contenuto dei più importanti documenti relativi a norme, istruzioni o raccomandazioni, editi in Italia da vari enti pubblici o da associazioni culturali sui temi che interessano l'ingegneria geotecnica.

Da questa breve rassegna risulta che la normativa finora elaborata in Italia in tema di Ingegneria geotecnica è ancora limitata e non è organizzata in una collezione sistematica, come in altri paesi. Inoltre, i documenti sono redatti in forma molto diversa, in dipendenza delle finalità e delle tendenze che sono prevalse caso per caso in seno alle commissioni che al compito sono state preposte.

Malgrado questi limiti e le molte lacune, la normativa italiana tocca vari argomenti, alcuni di carattere molto generale, altri di dettaglio.

Il tema delle indagini in sito è trattato ampiamente ed in modo organico [A.G.I., 1977] in forma di raccomandazioni. Sulle prove di laboratorio sono disponibili solo istruzioni sommarie per la misura di alcune caratteristiche fisiche dei terreni [C.N.R., 1964-78].

Se si escludono altri documenti elaborati o in corso di elaborazione a cura dell'A.G.I. e di altre associazioni culturali su particolari lavori nel sottosuolo, come l'impiego del calcestruzzo proiettato [A.G.I., 1975] e degli ancoraggi [A.I.C.A.P., 1981], la parte fondamentale della materia, nelle sue applicazioni più interessanti, è stata trattata nelle norme e nelle istruzioni emanate dal Ministero dei Lavori Pubblici sotto forma di decreti legge e circolari. Infatti, le disposizioni relative a quasi tutta la materia sono contenute, in forma più o meno avanzata ed aggiornata, nei documenti ministeriali indicati in sintesi nel prospetto seguente.

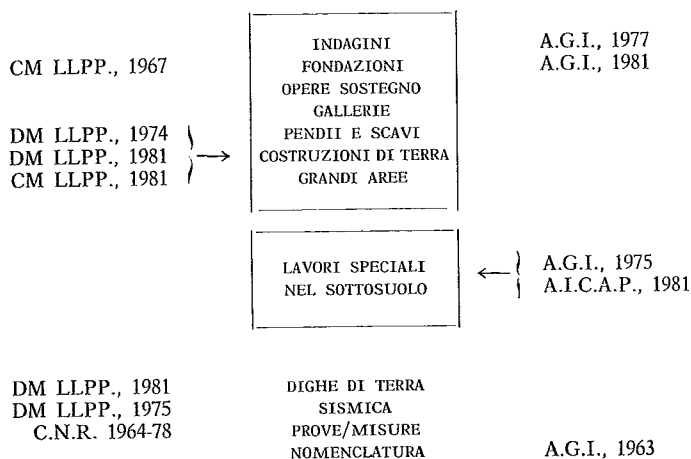
Per quanto riguarda la validità ed autorevolezza delle varie norme sul piano legale, è op-

(1) Al commento di questa norma l'A.G.I. ha dedicato una seduta guidata dal Prof. F. Esu, in occasione del XII Convegno Nazionale, tenutosi a Cosenza nel 1975, con gli interventi del Prof. Ing. B. D'Elia, Ing. C. Mascardi, Ing. M. Piccione, Ing. F. Rossi.

ARGOMENTI CONSIDERATI NELLE NORME
ED ISTRUZIONI GEOTECNICHE ITALIANE

Organi di stato

Associazioni culturali



portuno ricordare che le disposizioni emanate dal Ministero sotto forma di DM.LL.PP. sono *decreti legge*, che devono essere rispettati su tutto il territorio nazionale dagli enti pubblici e privati. Nelle *circolari ministeriali*, indicate nel prospetto con la sigla CM.LL.PP. sono raccolte istruzioni, non rigorosamente cogenti, alle quali, tuttavia, si può fare autorevole riferimento nelle controversie e nelle perizie.

Anche il Consiglio Nazionale delle Ricerche (C.N.R.) costituisce una fonte autorevole; fra l'altro, la legislazione vigente fa obbligo al Ministero di acquisire il parere di questo organo prima di emanare qualsiasi norma.

I documenti redatti dalle varie associazioni culturali non hanno, ovviamente, validità sul piano legislativo, ma possono costituire all'occorrenza un utile riferimento, anche se meno autorevole dei precedenti.

Come già accennato e prescindendo da questioni di dettaglio, la normativa italiana più importante sui piani sostanziale e legislativo è quella contenuta nei decreti del Ministero Lavori Pubblici.

Se si escludono gli argomenti particolari o speciali, come le dighe [DM.LL.PP., 1981] e quello sulle costruzioni delle aree sismiche [DM.LL.PP., 1975], le disposizioni sugli argomenti più diffusi e di più frequente trattazione da parte degli ingegneri sono quelle contenute nel decreto 1981 [DM.LL.PP., 1981].

Malgrado le lacune e i limiti della trattazione, questa norma, che tocca in sintesi quasi

tutta la materia, può costituire un punto di riferimento per i successivi sviluppi.

Dopo una serie di disposizioni generali, la materia è ordinata per tipo di opera e precisamente, nell'ordine, le costruzioni di materiali sciolti, le costruzioni in sotterraneo, i pendii naturali; seguono alcune indicazioni relative alla geotecnica delle grandi aree, alle discariche ed alle colmate.

In ciascuno dei capitoli si considerano quattro ordini di argomenti: le indagini preliminari, i calcoli, le questioni costruttive, i controlli.

La materia è trattata in maniera del tutto generale ed in forma problematica; le disposizioni sono relativamente flessibili, in modo da lasciare libertà al progettista di regolarsi autonomamente nel formulare il piano delle indagini e dei controlli, nella caratterizzazione geotecnica dei terreni e delle rocce, nella scelta delle principali ipotesi e procedimenti nei calcoli geotecnici.

Nei vari capitoli traspare il concetto che i problemi di ingegneria geotecnica vanno trattati in maniera unitaria con quelli dell'ingegneria strutturale ed idraulica per pervenire ad un'armonica composizione progettuale con il concorso di esperti di queste varie discipline.

Per quanto si riferisce alle indagini si insiste sulla stretta relazione esistente fra il programma degli accertamenti e delle prove geotecniche ed i criteri progettuali e sui metodi di esecuzione del lavoro.

Fondamentale appare la disposizione con la

quale la progettazione geotecnica deve essere sempre basata sulla caratterizzazione meccanica dei terreni e delle rocce. A tale riguardo, si richiede al progettista di esprimere una chiara ipotesi di lavoro, basata sui dati disponibili all'epoca del progetto, ipotesi da verificare ed eventualmente aggiornare in corso d'opera a cura del direttore dei lavori, attraverso un piano di misure e controlli geotecnici, che devono essere previsti in progetto e sviluppati con la necessaria frequenza per rilevare le eventuali differenze fra le previsioni e la realtà. Questa ipotesi progettuale deve pertanto intendersi come un punto di riferimento, rispetto al quale ogni variante, che si rendesse necessario apportare in corso d'opera per motivi geotecnici, deve valutarsi e giustificarsi.

L'applicazione di questi concetti, che si collegano esplicitamente al processo di progettazione geotecnica permanente, richiede anche, da parte del progettista, un riferimento ai procedimenti costruttivi ed alle lavorazioni, che si prevede di adottare. È ovvio, infatti, che i calcoli geotecnici sono significativi solo se nella loro impostazione si fa chiaro riferimento ai terreni e ai metodi di costruzione.

Nel dettaglio, spicca la disposizione secondo la quale una verifica di stabilità del complesso terreno-struttura può essere omessa solo per opere di modesta importanza, laddove il giudizio sull'opportunità di corredare il progetto di un calcolo degli spostamenti è lasciato al progettista caso per caso.

A proposito della sicurezza, è interessante anche notare che la normativa, pur precisando i valori che converrà di norma adottare per il coefficiente di sicurezza in talune verifiche, lascia la libertà al progettista di discostarsi da tali valori, purché le ragioni che inducono ad adottare valori diversi siano chiaramente motivate e documentate.

A conclusione di questi brevi cenni si vuole ricordare che la struttura della normativa geotecnica italiana nelle principali disposizioni del Ministero dei Lavori Pubblici deriva dall'esigenza di produrre un testo sintetico e agile, che abbia il significato culturale di una norma di comportamento e che valga essenzialmente ad illustrare le fasi della progettazione geotecnica delle varie opere, dalle indagini ai controlli geotecnici, vincolando l'operatore (committente, progettista, direttore dei lavori, costruttore, collaudatore) a non trascurare i più importanti adempimenti in tema di indagini, calcoli, pro-

cedimenti esecutivi, controlli, lasciando al progettista piena autonomia di discostarsi da alcune disposizioni, in dipendenza di situazioni locali, previa ragionata e documentata motivazione.

In previsione di un'utilizzazione a livello europeo, si ritiene peraltro auspicabile un'attenta revisione del testo, attualmente in vigore, in parte per ragioni formali, ma soprattutto per colmare alcune lacune, fra le quali si segnalano, ad esempio, la definizione dei compiti dei vari operatori, per gli aspetti che riguardano l'ingegneria geotecnica; la precisazione dei criteri di progetto per gli aspetti sismici, almeno per quanto riguarda la valutazione della risposta sismica locale; la trattazione dei problemi di fondazione e di consolidamento del sottosuolo per i vecchi edifici, specie di carattere storico e monumentale; la nomenclatura.

Non è inutile segnalare, infine, che in Italia si è tendenzialmente contrari ad un'eccessiva standardizzazione dei procedimenti di indagine e dei metodi di calcolo, anche per la difficoltà di generalizzare i fattori relativi all'ambiente fisico, che si presenta straordinariamente vario e complesso. Nell'attuale normativa italiana il problema è stato risolto, distinguendo i principi di carattere generale, che possono considerarsi validi dovunque e in ogni tempo, dalle conoscenze empiriche ed ipotetiche, la cui validità è legata ad un momento o ad una località particolari; i primi sono oggetto di prescrizioni di legge, che tutti i cittadini devono rispettare su tutto il territorio nazionale; le seconde sono divulgate sotto forma di raccomandazioni operative, che devono essere più frequentemente revisionate ed aggiornate.

A P P E N D I C E

Rassegna del contenuto di norme ed istruzioni italiane su argomenti di ingegneria geotecnica

ELENCO DELLE NORME GEOTECNICHE ITALIANE (1)

- A.G.I. (1963) : Nomenclatura geotecnica e classifica delle terre
A.G.I. (1975) : Rapporto sull'impiego del calcestruzzo proiettato in Italia

(1) C.N.R. : Consiglio Nazionale delle Ricerche

LL.PP. : Ministero dei Lavori Pubblici
DM Decreto, CM Circolare

A.G.I. : Associazione Geotecnica Italiana

A.I.C.A.P. : Associazione Italiana per il Cemento Armato Precompresso

- A.G.I. (1977) : Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche
- A.G.I. (1981) : Raccomandazione su pali di fondazione (bozza)
- A.I.C.A.P. (1981) : Ancoraggi nei terreni e nelle rocce (bozza)
- C.N.R. (1964-78) : Norme varie su prove e misure di caratteristiche fisiche dei terreni
- CM LL.PP. (1967) : Istruzioni per il progetto, esecuzione e collaudo delle opere di fondazione
- CM LL.PP. (1967) : Istruzioni per la redazione dei progetti di strade
- DM LL.PP. (1974) : Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche
- DM LL.PP. (1975) : Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche
- DM LL.PP. (1980) : Criteri generali e prescrizioni tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo di ponti stradali
- DM LL.PP. (1980) : Norme geotecniche
- CM LL.PP. (1981) : Istruzioni geotecniche
- DM LL.PP. (1982) : Regolamento per la progettazione e la costruzione delle dighe di sbarramento

A.G.I. (1963) - Nomenclatura geotecnica e classifica delle terre - Geotecnica, 4.

In questo rapporto, redatto da una commissione istituita dall'A.G.I., sono indicati i criteri di classificazione proposti dall'A.G.I. per la composizione granulometrica delle terre, intese come materiali naturali sciolti al di fuori della loro sede e vengono definiti i termini che si adottano per denominare le varie frazioni.

Segue un glossario con le definizioni di alcuni termini di uso corrente nell'Ingegneria Geotecnica.

A.G.I. (1975) - Rapporto sull'impiego del calcestruzzo proiettato in Italia - Quaderno n° 2.

Nel rapporto sono espone in sintesi le notizie disponibili sull'impiego del calcestruzzo proiettato in Italia. Sono riportate informazioni sulla composizione e sulla tecnica di posa in opera; seguono numerosi esempi di applicazioni, che si riferiscono principalmente a lavori in galleria ed al rivestimento di scarpate, derivanti dalla pratica esperienza di imprese e studi di progettazione.

Il materiale raccolto costituisce la base per una ricerca sul ruolo che un rivestimento deformabile può assumere nel comportamento geotecnico delle fronti di scavo all'aperto ed in sotterraneo e la premessa per lo studio di una normativa, che l'Associazione Geotecnica Italiana intende proporre sull'argomento.

A.G.I. (1977) - Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche - Quaderno n° 1.

La raccomandazione è destinata a coprire le situazioni che più frequentemente si presentano nel settore delle indagini geotecniche con riferimento alle opere convenzionali dell'ingegneria civile. Sono, quindi, escluse le indagini relative a grandi manufatti, come centrali termoneucleari, grandi dighe di ritenuta, lunghe gallerie, che per la loro complessità sono di regola progettate, condotte ed interpretate da tecnici specializzati, che affiancano i

progettisti durante tutte le fasi di concepimento e realizzazione dell'opera.

Le raccomandazioni riguardano le indagini in sito. Nella prima parte del fascicolo, che consta di circa 100 pagine, vengono esposti i criteri di carattere generale da seguire nella programmazione e nell'esecuzione delle indagini nelle diverse fasi del progetto, costruzione ed esercizio delle opere. Vengono richiamati i principali mezzi di indagine e, per alcuni tipi di manufatti, viene suggerito il programma minimo da sviluppare in ogni caso. Su questo argomento l'A.G.I. si è attenuta al criterio di suggerire un numero di verticali da indagare in funzione del tipo e delle dimensioni dell'opera, ma riconosce che un altrettanto valido criterio potrebbe essere quello di destinare alle indagini una somma proporzionale, per ogni categoria di opere, al costo totale dell'opera.

Nella seconda e terza parte della raccomandazione vengono dati suggerimenti relativi alla modalità di esecuzione di scavi e perforazioni di sondaggio e di prelievo di campioni indisturbati. Sono richiamate e descritte le tecniche ormai collaudate e più di frequente adottate nelle indagini.

A proposito del campionamento indisturbato, è stata introdotta una classifica di qualità dei campioni analoga a quella che ormai da anni è riportata nelle norme tedesche DIN. La Commissione ha, infatti, ritenuto che una classifica piuttosto precisa, in sostituzione delle generiche dizioni « campione indisturbato » e « campione rimaneggiato », possa giovare alla chiarezza dei rapporti tra committente ed impresa e portare ad un generale miglioramento delle tecniche di prelievo di campioni di buona qualità.

Nel descrivere i campionatori per il prelievo di campioni indisturbati ci si è riferiti alle attrezzature più frequentemente impiegate.

Nel capitolo dei profili stratigrafici sono trattate piuttosto diffusamente anche le classifiche tecniche di cantiere e le informazioni da raccogliere nel corso di indagini. La Commissione ha, infatti, ritenuto che in questo campo molte utili informazioni vadano disperse perché manca generalmente, da parte degli operatori medi, l'abitudine ad osservare e registrare tutti i dati necessari per definire il comportamento meccanico del terreno.

Per quanto riguarda la composizione granulometrica l'A.G.I. ha fatto riferimento al ben noto schema del M.I.T.

Per gli ammassi rocciosi si raccomanda la classificazione in base all'RQD, anche se la rilevazione di questo indice comporta l'adozione di tecniche di trivellazione molto curate ed anche se sussistono perplessità sulla sua significatività.

Le parti quinta, sesta e settima del manuale riguardano le prove in sito: misura delle pressioni neutre, determinazioni di permeabilità e prove penetrometriche e scissometriche. Anche nello sviluppo di questi argomenti l'A.G.I. fa riferimento ad attrezzature e tecniche di prova semplici ed ormai entrate nella pratica corrente, con lo scopo soprattutto di indicare le condizioni che devono essere in ogni caso rispettate, affinché i risultati sperimentali siano significativi.

Per la simbologia, l'A.G.I. si è attenuta alle raccomandazioni dell'I.S.S.M.F.E. e della I.S.M.R. Per le unità di misura si fa riferimento al m, Kg (forza), s, riportando, dove necessario, anche le unità di misura del Sistema Internazionale (SI).

A.G.I. (1981) - Raccomandazione sui pali di fondazione (bozza).

Con la presente raccomandazione l'A.G.I. offre ai numerosi tecnici, che operano nel settore, una guida pratica a carattere elementare.

Il testo, in corso di stesura, comprenderà una parte introduttiva, la descrizione dei tipi costruttivi di pali trivellati e di pali infissi ed un corrispondente schema di classificazione, l'esposizione dei criteri geotecnici di progetto ed, infine, la descrizione dei metodi di prova e collaudo.

Nel capitolo sulla tipologia sono discussi i vari fattori che influenzano la scelta del tipo di palo, alla luce di considerazioni sulla ubicazione e sul tipo di opera, sulle caratteristiche dei terreni e della falda, sulla durata e sui costi. In particolare, per i pali trivellati, che vengono distinti in tre gruppi in base al diametro, sono descritte le tecnologie esecutive, ponendo in evidenza le difficoltà che si incontrano in pratica.

Per i pali eseguiti senza asportazione di terreno, vengono considerati i materiali, le attrezzature per l'infissione, l'armatura, il getto del calcestruzzo, i controlli.

Nel capitolo sulla progettazione dei pali (isolati e in gruppo) vengono trattati il calcolo del carico limite con le formule statiche, dinamiche e con l'impiego del penetrometro, nonché la valutazione dei cedimenti.

A proposito dei calcoli gli estensori della raccomandazione si soffermano particolarmente sulla valutazione dei vari coefficienti, che dipendono dalle caratteristiche meccaniche dei terreni e dalle modalità esecutive dei pali.

L'ultimo capitolo, relativo ai controlli, comprende una parte dedicata alle prove di carico per la verifica della capacità portante ed una parte che si riferisce ai controlli sui materiali e sulle attrezzature.

Con riferimento alle prove di progetto e di collaudo vengono descritte le modalità esecutive con alcuni avvertimenti sugli errori più comuni. Sono inoltre riportati alcuni suggerimenti sulla rappresentazione dei risultati per valutare la significatività delle prove.

Nel paragrafo sui controlli si sottolinea l'importanza di un'approfondita conoscenza dei terreni per una corretta scelta della tecnica di esecuzione dei pali.

A.I.C.A.P. (1981) - Ancoraggi nei terreni e nelle rocce (bozza).

La norma, disponibile solo in forma di bozza di lavoro, comprende un testo, accompagnato da alcune figure e commenti.

Dopo una parte introduttiva generale ed alcune definizioni relative a tiranti, bulloni e chiodi, la norma suggerisce i criteri di indagine per la caratterizzazione del sottosuolo sotto l'aspetto meccanico e nei riguardi delle possibili azioni corrosive. Seguono le specifiche sui materiali, fra i quali l'acciaio, il cemento, l'acqua, gli aggregati, gli additivi e le malte di iniezione e sui particolari tecnologici dell'intervento, con speciale riguardo alle guaine, ai distanziatori, ai condotti di iniezione ed ai tamponi.

La norma prosegue con l'illustrazione dettagliata delle tecniche esecutive, che comprendono i metodi impiegati nella perforazione, le prove d'acqua e le iniezioni preventive, le varie fasi di assemblaggio degli elementi, la posa in opera delle armature, le varie tecniche per realizzare la connessione al terreno, la posa in opera dei dispositivi di bloccaggio ed, infine, la messa in trazione delle armature.

Un ampio capitolo è dedicato alla progettazione, che viene basata sui risultati di prove in sito, delle quali vengono descritti gli scopi, le modalità esecutive ed i criteri di interpretazione, rispettivamente per gli ancoraggi, i bulloni e i chiodi.

Nell'ultimo capitolo sono esposti i criteri di collaudo dei tre tipi di intervento, con la descrizione delle modalità esecutive delle prove, dei cicli di carico e dei criteri di accettazione dei risultati.

Si riporta, infine, un cenno sul controllo del comportamento dei tiranti e dei bulloni nel tempo.

C.N.R. (1964) - Prove sulle terre - Peso specifico reale di una terra - C.N.R./UNI 10010, marzo.

C.N.R. (1964) - Prove sulle terre - Peso specifico dei granuli - C.N.R./UNI 10013, aprile.

C.N.R. (1971) - Analisi granulometrica di una terra mediante crivelli e stacci.
Bollettino Ufficiale, Anno V, n° 23, 14 dicembre.

C.N.R. (1972) - Peso specifico apparente di una terra in sito.
Bollettino ufficiale, Anno VI, p. IV, n° 22, p. 457-473, 22 dicembre.

C.N.R. (1972) - Campionatura di terre e terreni.
Bollettino Ufficiale, Anno VI, p. IV, n° 25, p. 499-517, 27 gennaio.

C.N.R. (1972) - Metodo di prova per la misura dell'equivalente in sabbia.
Bollettino Ufficiale, Anno VI, p. IV, n° 27, p. 1-20, 30 marzo.

C.N.R. (1972) - Norme sui misti cementati.
Bollettino Ufficiale, Anno VI, p. IV, n° 29, p. 1-20, 7 novembre.

C.N.R. (1973) - Determinazione della perdita in peso per abrasione di aggregati lapidei con l'apparecchio Los Angeles.
Bollettino Ufficiale, Anno VII, p. IV, n° 34, p. 1-12, 28 marzo.

C.N.R. (1973) - Stabilizzazione delle terre con calce.
Bollettino Ufficiale, Anno VII, p. IV, n° 36, p. 1-16, 21 febbraio.

C.N.R. (1978) - Determinazione della massa volumica apparente di aggregati non addensati.
Bollettino Ufficiale, Anno XII, n° 62, 9 maggio.

C.N.R. (1978) - Determinazione della massa volumica apparente dei granuli di un aggregato.
Bollettino Ufficiale, Anno XII, n° 63, 15 maggio.

C.N.R. (1978) - Determinazione della massa volumica reale dei granuli di un aggregato.
Bollettino Ufficiale, Anno XII, n° 64, 16 maggio.

C.N.R. (1978) - Determinazione della porosità dei granuli di aggregati, percentuale dei vuoti di aggregati, indice dei vuoti di aggregati.
Bollettino Ufficiale, p. IV, n° 65, p. 5-14, 18 maggio.

Le norme del C.N.R. si riferiscono prevalentemente a problemi geotecnici stradali e sono limitate ad istruzioni sommarie per l'esecuzione di misure e prove in laboratorio ed in sito.

Per ogni misura si descrivono brevemente l'apparecchiatura, le modalità di preparazione dei provini, l'elaborazione dei risultati. Segue, in talune istruzioni, un cenno ai possibili errori sperimentali.

CM. LL.PP. (1967) - Istruzioni per il progetto, esecuzione e collaudo delle opere di fondazione - Circolare Ministero Lavori Pubblici, Consiglio Superiore, Servizio Tecnico Centrale, n° 3797, 6 novembre.

In queste istruzioni, che il Servizio Tecnico Centrale si propone di aggiornare periodicamente, vengono indicati i criteri di carattere generale da seguire nel progetto, esecuzione e collaudo di tutte le fondazioni di opere di in-

gegneria civile, ad eccezione delle dighe, traverse, argini ed opere di difesa fluviale.

Per le zone classificate come sismiche le istruzioni devono essere integrate da quanto stabilito nelle norme per le costruzioni in zona sismica.

Le istruzioni sono articolate in considerazioni generali, progetto, costruzione e collaudo e si completano con alcuni fogli di istruzione che recano suggerimenti ed indicazioni particolari.

Nelle considerazioni generali vengono definite le figure dei vari Operatori, che partecipano alla realizzazione della fondazione ed in particolare, il Committente, il Progettista, il Direttore dei Lavori, il Costruttore, il Collaudatore. Segue l'esposizione delle fasi del progetto e l'elencazione dei fattori che influenzano il comportamento della fondazione. Viene quindi riportato un cenno alle indagini in sito ed in laboratorio occorrenti per la caratterizzazione dei terreni. Le verifiche, che vengono raccomandate, riguardano la stabilità del complesso terreno-fondazione ed il calcolo dei cedimenti.

Il progetto della fondazione dovrà essere elaborato unitariamente con quello del manufatto in elevazione. In apposito elaborato, intitolato Relazione sulla Fondazione, si dovranno riportare i risultati delle indagini e dei calcoli geotecnici di proporzionamento.

Fra i compiti del Direttore dei Lavori le verifiche sui terreni, la disciplina delle acque, le misure di controllo dei cedimenti.

Il Costruttore dovrà procedere, fra l'altro, alla verifica della stabilità e dell'efficienza di tutte le opere provvisorie in relazione ai terreni.

Il Collaudatore accerterà la rispondenza dell'opera alle previsioni del progetto anche sotto l'aspetto geotecnico.

Fra le istruzioni allegate alla Circolare, particolare interesse riveste il foglio nel quale si elencano gli argomenti che devono essere trattati nella Relazione sulla Fondazione.

C.M. LL.PP. (1967) - Istruzione per la redazione dei progetti di strade - Circolare Ministero Lavori Pubblici.

Con la presente Circolare si impartiscono dettagliate direttive per la compilazione di progetti di strade da eseguire per conto dello Stato o di enti pubblici.

La norma è basata sulla distinzione della progettazione in tre livelli, che sono il progetto preliminare, il progetto di massima, il progetto definitivo. In ciascuno dei casi sono indicate le indagini da effettuare e gli elaborati che devono essere allegati al progetto.

Nel progetto preliminare è sufficiente corredare la relazione di indicazioni geologiche e geotecniche e di notizie sui materiali da costruzione.

Nella relazione allegata al progetto di massima si darà una descrizione sommaria dei tipi di terreni interessati dai movimenti di terra per l'apertura della sede stradale, ai fini sia della utilizzazione nella formazione dei rilevati che della stabilità delle scarpate e della portanza dei sottofondi e ci si soffermerà sulla stabilità delle opere d'arte.

Il progetto definitivo comprenderà i calcoli geotecnici relativi alla stabilità del corpo stradale e tutte le indicazioni di dettaglio.

Per taluni aspetti si fa riferimento alla C.M. LL.PP., 1967 ed alle norme C.N.R., 1964-76. Nei casi specifici si richiamano i compiti dei vari operatori.

D.M. LL.PP. (1974) - Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche - Legge 2 febbraio n° 64 - G.U. n° 76, 21 marzo.

Nella prima parte di questa legge si prescrive che in tutti i comuni della Repubblica le costruzioni pubbliche

e private devono essere realizzate in osservanza di norme tecniche che il Ministero dei Lavori Pubblici dovrà emanare, avvalendosi anche della collaborazione del Consiglio Nazionale delle Ricerche. Tali norme potranno essere successivamente modificate ed aggiornate.

Per gli aspetti geotecnici saranno oggetto delle norme le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e precisazioni tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

Nella seconda parte sono indicate le norme generali per le costruzioni in zone sismiche.

Gli argomenti di carattere geotecnico riguardano le indagini e le verifiche di fondazione.

Per le indagini si prescrive che le caratteristiche generali e le proprietà fisico-meccaniche dei terreni di fondazione siano esaurientemente accertate.

Per le costruzioni su pendii gli accertamenti devono essere convenientemente estesi al di fuori dell'area edificatoria per rilevare tutti i fattori occorrenti per valutare le condizioni di stabilità dei pendii medesimi.

Per le verifiche si precisa che i calcoli del complesso terreno-opera di fondazione si eseguono con i metodi e i procedimenti della geotecnica, tenendo conto, fra le forze agenti, delle azioni sismiche orizzontali applicate alla costruzione.

Al progetto deve essere allegata una Relazione sulla Fondazione, nella quale dovranno illustrarsi i criteri adottati nella scelta del tipo di fondazione, le ipotesi assunte, i calcoli svolti nei riguardi del complesso terreno-opera di fondazione.

D.M. LL.PP. (1975) - Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche - Decreto Ministeriale 3 marzo - G.U. n° 93, S.O. 8 aprile.

Le norme riguardano tutte le costruzioni in zone dichiarate sismiche.

Per gli aspetti che interessano la geotecnica vengono brevemente considerate le indagini, le verifiche di fondazione e le opere di sostegno.

Per le indagini si precisa che i fattori influenzanti il comportamento delle fondazioni dovranno essere individuati e valutati in conformità a quanto stabilito nella Circolare Ministeriale 3797 del 6/11/1967, che si intende integralmente richiamata. Si attira particolarmente l'attenzione sulla necessità di estendere le indagini nel caso dei pendii e di svolgere studi ed indagini specifiche sul fenomeno della liquefazione.

I risultati degli accertamenti dovranno essere illustrati nella Relazione sulle Fondazioni di cui alla Legge 2/2/1974 n° 64.

I calcoli di stabilità del complesso terreno-opera di fondazione vanno eseguiti con i metodi e i procedimenti della geotecnica, tenendo conto delle azioni sismiche, valutate come azioni statiche orizzontali e verticali.

Il piano di posa delle fondazioni deve essere spinto in profondità in modo da non ricadere nella zona, dove risultino apprezzabili le variazioni stagionali del contenuto naturale d'acqua.

Altre prescrizioni importanti riguardano l'obbligo che le strutture di fondazione siano fra loro collegate da un reticolo di travi e l'obbligo di armare i pali per tutta la lunghezza.

Per il calcolo delle opere di sostegno viene illustrato un metodo per la maggiorazione della spinta, sempre con criterio statico, in dipendenza di un coefficiente di intensità sismica, che è definito a sua volta in funzione del grado di sismicità della zona.

In pratica, le zone sismiche sono divise in due categorie. Alla prima corrisponde un coefficiente di intensità sismica 0,10; alla seconda viene attribuito il valore 0,07⁽¹⁾.

D.M. LL.PP. (1980) - Criteri generali e prescrizioni tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo di ponti stradali - Decreto Ministeriale 2 agosto 1980 - Suppl. Ord. G.U. n° 398 del 10 novembre 1980.

Per quanto riguarda le fondazioni dei ponti si precisa che la progettazione geotecnica deve essere sviluppata secondo le norme geotecniche di cui all'art. 1 della Legge 2 febbraio 1974 n° 64 [D.M. LL.PP., 1974] e che le fondazioni devono essere considerate parte integrante della struttura.

D.M. LL.PP. (1981) - Norme tecniche 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 ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione - Decreto Ministeriale 21 gennaio - Suppl. Ord. G.U. n° 37 del 7 febbraio.

La legge, che si applica a tutte le opere pubbliche e private da realizzare nel territorio della Repubblica, tocca in sintesi quasi tutti i principali argomenti relativi alla progettazione geotecnica di manufatti di ingegneria civile. Sono escluse le dighe di materiali sciolti, in quanto, come le altre dighe, queste opere sono soggette in Italia ad una speciale regolamentazione [D.M.LL.PP., 1982].

Dopo alcune disposizioni generali, la materia è trattata per tipo di opera e precisamente fondazioni, opere di sostegno, costruzioni di materiali sciolti, costruzioni in sotterraneo, pendii naturali e fronti di scavo, interventi sul sottosuolo; seguono le verifiche geotecniche relative alle grandi aree, le discariche, le colmate.

Nelle disposizioni generali si precisa che le scelte di progetto devono essere sempre basate sulla caratterizzazione geotecnica del sottosuolo. I calcoli di progetto devono comprendere le verifiche di stabilità e una valutazione dei prevedibili spostamenti in rapporto alla sicurezza del manufatto e di quelli adiacenti. La scelta dei coefficienti di sicurezza deve essere motivata.

Nel progetto devono essere considerati gli aspetti costruttivi di carattere generale.

In fase esecutiva si deve riscontrare la rispondenza fra la caratterizzazione geotecnica di progetto e le effettive condizioni del sottosuolo.

Nel caso di costruzioni di modesto rilievo i calcoli geotecnici di stabilità e la valutazione degli spostamenti possono essere omissi, ma l'idoneità delle soluzioni progettuali adottate deve essere motivata.

I risultati delle indagini, degli studi e dei calcoli geotecnici devono essere esposti in una relazione geotecnica, che è parte integrante degli atti progettuali.

Il collaudo dovrà accertare la rispondenza delle opere eseguite alle previsioni progettuali e la rispondenza dell'esecuzione alla presente normativa, tenendo conto di tutti i dati rilevati in corso di costruzione.

Per le indagini geotecniche si prescrive fra l'altro che nella fase di progetto queste devono essere dirette ad approfondire la caratterizzazione geotecnica qualitativa e quantitativa del sottosuolo per confrontare le soluzioni possibili, scegliere quella esecutiva e definire i procedimenti costruttivi. Si precisa anche che le indagini, gli studi e i rilievi devono essere portati a termine nei tempi utili alla compilazione del progetto, salvo successivi sviluppi in relazione alle esigenze della fase costruttiva. Il

programma delle indagini deve essere sufficientemente flessibile per consentire eventuali modifiche conseguenti alle conoscenze che si potranno acquisire nel corso delle indagini stesse.

In ciascuno dei capitoli successivi vengono trattati in sintesi quattro ordini di argomenti e precisamente le indagini geotecniche, i calcoli geotecnici, i criteri costruttivi, i controlli geotecnici relativi a ciascuna categoria di manufatti o di problemi.

Viene sempre richiesto un piano preliminare di indagini, una chiara esposizione dei calcoli geotecnici, un piano di controlli da effettuare in corso d'opera.

Per le opere di fondazione si prescrive in particolare che il progetto sia eseguito congiuntamente al progetto dell'opera in elevazione e che esso comprenda anche l'indicazione dei metodi di costruzione.

Il carico ammissibile nei riguardi della rottura deve essere fissato come un'aliquota del carico limite. In generale il coefficiente di sicurezza non deve essere inferiore a 3.

La previsione dei cedimenti deve essere basata sul calcolo, riferito alle condizioni geotecniche del sottosuolo, valutando opportunamente l'entità dei carichi e dei sovraccarichi. Nella valutazione degli stati di sollecitazione negli elementi strutturali di fondazione si deve tener conto della interazione terreno-struttura di fondazione-struttura in elevazione.

Per le palificate di fondazione vengono fissati i criteri di calcolo, i coefficienti di sicurezza ed i criteri da seguire nel predisporre il piano delle prove di carico, sia in fase di progetto che ai fini del collaudo.

Per i muri di sostegno le verifiche richieste riguardano lo slittamento sul piano di posa, il ribaltamento, il calcolo del carico limite, la stabilità generale; per ciascuna si indicano i valori minimi dei coefficienti di sicurezza richiesti.

Si precisa anche che le ipotesi per il calcolo delle spinte devono essere giustificate con considerazioni sugli spostamenti prevedibili in relazione alla funzione assoluta dal muro; in particolare, la spinta attiva può essere adottata nel caso in cui questo valore della spinta sia compatibile con i possibili spostamenti del muro.

Sempre in tema di opere di sostegno, è riportato un cenno ai criteri di costruzione, drenaggi, giunti, ed al costringimento del materiale di riporto.

I manufatti di materiali sciolti devono essere progettati tenendo conto dei requisiti richiesti per la loro funzione, nonché delle caratteristiche dei terreni di fondazione; devono essere altresì indicate le fonti di approvvigionamento e le disponibilità dei materiali. La stabilità dell'insieme manufatto-terreno di fondazione deve essere indicata nelle condizioni corrispondenti alle diverse fasi costruttive. Per i rilevati il coefficiente di sicurezza non deve essere inferiore a 1,3.

Nel progetto dei manufatti sotterranei devono essere chiaramente indicati le ipotesi assunte per la valutazione delle componenti di sollecitazione che si destano nel sottosuolo, nell'intorno del manufatto, ed il significato delle approssimazioni che ne conseguono. La scelta dei metodi di scavo deve effettuarsi tenendo conto delle proprietà geotecniche dei terreni che si prevede di attraversare e dell'eventuale presenza di falde idriche e di altri manufatti. Le ipotesi sulla verifica del rivestimento devono essere compatibili con il metodo e con i tempi di costruzione. La soluzione di progetto deve essere controllata sulla base delle osservazioni e dei dati sperimentali che si raccolgono nel corso dei lavori.

Per i pendii naturali, nella scelta del metodo di calcolo per la verifica di stabilità si deve tener conto della posi-

(1) La normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica emanata in Italia dal 1909 ad oggi è raccolta in un fascicolo edito dall'Associazione Nazionale Costruttori Edili (A.N.C.E.) nell'aprile 1976.

zione e della forma delle prevedibili superfici di scorrimento, dell'assetto strutturale, nonché delle caratteristiche meccaniche del terreno. Il progetto degli interventi di consolidamento deve essere corredato dei calcoli di stabilità. Il piano dei controlli sull'efficacia dei provvedimenti deve essere parte integrante degli elaborati progettuali.

Per quanto attiene alle grandi aree la norma prescrive che prima di passare alla progettazione delle singole opere, per le quali valgono le norme specifiche, sia verificata e documentata la fattibilità dell'insieme dai punti di vista geologico e geotecnico e, se necessario, individuati i limiti imposti al progetto dalle caratteristiche del sottosuolo.

Per le discariche, la norma prescrive che la scelta delle aree da destinare a tale scopo vada eseguita sulla base di uno studio geologico e di uno studio geotecnico. In ogni caso, le discariche e le colmate devono essere realizzate sulla base di un progetto, che ne stabilisca le dimensioni e le modalità di posa in opera e indichi i provvedimenti necessari per la conservazione della stabilità nel tempo.

Nel progetto delle opere di emungimento si deve accertare che eventuali conseguenti cedimenti della superficie del suolo siano compatibili con la stabilità e la funzionalità dei manufatti presenti nella zona interessata dall'emungimento.

C.M. LL.PP. (1981) - 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 ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

Le istruzioni sono state redatte dal Ministero LL. PP. a chiarimento ed integrazione delle norme geotecniche, di cui al D.M. 21/1/1981.

Il principale obiettivo è quello di elencare i fattori dai quali il comportamento del manufatto dipende per gli aspetti geotecnici, le finalità delle indagini, i criteri per la scelta del coefficiente di sicurezza ed il contenuto della relazione geotecnica e della relazione geologica nei singoli casi.

Per la programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche in sito si raccomanda di consultare il quaderno edito dall'A.G.I. (A.G.I., 1977).

In tema di fondazioni vengono elencati i fattori dai quali il comportamento dell'opera dipende, con particolare riguardo ai terreni, alla struttura ed all'ambiente fisico. Seguono alcuni chiarimenti in merito alla definizione ed al calcolo dei cedimenti e del carico limite per le fondazioni dirette e per le palificate.

Per le opere di sostegno sono indicati i criteri per la valutazione delle azioni del terreno sul muro e per la scelta e posa in opera del materiale. Per le gallerie le istruzioni contengono chiarimenti in merito alle variazioni degli stati di tensione e di deformazione del sottosuolo per effetto della costruzione, sulla stabilità del fronte di avanzamento e sul comportamento del preinvestimento e del rivestimento.

Per i pendii sono elencati i fattori che è necessario considerare nelle valutazioni della stabilità; si accenna quindi alla finalità delle indagini in sito ed in laboratorio, con particolare riguardo alla strumentazione di controllo. Per le verifiche di fattibilità degli insediamenti urbani ed industriali su grandi aree si precisano le finalità delle indagini geologiche e degli studi geotecnici. Un cenno è riportato, infine, sui provvedimenti per il controllo delle pressioni neutre mediante filtri e drenaggi ed ai relativi criteri di progetto e di esecuzione.

D.M. LL.PP. (1982) - Regolamento per la progettazione e la costruzione delle dighe di sbarramento. D.M. 24 marzo - G.U. n° 212, 4 agosto.

Le questioni che interessano la geotecnica sono accennate nelle disposizioni generali e riprese con riferimento ai singoli tipi di opere di sbarramento.

Nelle disposizioni generali vengono prescritte indagini per il riconoscimento dei terreni di fondazione e prove per la misura delle caratteristiche di resistenza, deformabilità e permeabilità.

Le indagini dovranno essere convenientemente estese a monte, a valle e, nei riguardi della stabilità dei versanti, al di sopra delle imposte della diga e relative opere ausiliarie.

Si raccomanda che le prove di laboratorio siano svolte in stretto coordinamento con le indagini in sito. Nel caso in cui siano previsti interventi o trattamenti particolari sul sottosuolo dovranno essere eseguite speciali prove in sito per verificare la fattibilità e l'efficacia dei trattamenti medesimi.

Durante gli scavi che precedono la costruzione della diga si dovrà verificare con apposite indagini la rispondenza delle previsioni di progetto alle caratteristiche dei terreni di fondazione.

Indagini particolari di tettonica e macrosismica vengono richieste nelle zone non classificate come sismiche, ai fini dell'eventuale equiparazione a zone classificate e dell'applicazione delle norme relative (LL.PP., 1975).

Nelle zone sismiche è vietata la costruzione di dighe murarie se la fondazione non ha caratteristiche meccaniche notevolmente uniformi e se le discontinuità strutturali hanno origine da faglie in presumibile stato di attività.

Quanto alle dighe di materiali sciolti, non è consentita la costruzione su sabbie fluidificabili e su argille sensibili. In caso di sisma si richiede la valutazione del comportamento di terreni particolarmente sensibili.

Viene in ogni caso esclusa la possibilità di realizzare dighe di qualsiasi tipo se sulle spalle, anche al di sopra del livello di massimo invaso esistono condizioni di prevedibile pericolo di frane.

Per la valutazione delle azioni sismiche si prescrive il ricorso al metodo pseudostatico. Il coefficiente di intensità sismica viene valutato in funzione del grado di sismicità assegnato dalle norme sismiche (LL.PP., 1975) al territorio nel quale l'opera ricade.

Il regolamento prescrive, infine, l'attuazione di un piano generale degli apparecchi e dispositivi di controllo da installare nella struttura ed in fondazione.

Passando ad illustrare più in particolare le disposizioni relative ai vari tipi di dighe, interessa distinguere le dighe di muratura da quelle di materiali sciolti.

Per le dighe di muratura le prescrizioni che si riferiscono a questioni di geotecnica riguardano le fondazioni e la tenuta. A tale riguardo sono riportate raccomandazioni sulla configurazione geometrica e sul trattamento della superficie di fondazione; per la tenuta vengono, inoltre, prescritti uno schermo e iniezioni di collegamento fra roccia e struttura muraria; viene, infine, raccomandato lo studio di provvedimenti per il miglioramento delle caratteristiche meccaniche della roccia di fondazione.

Le disposizioni in merito al proporzionamento ed alle verifiche geotecniche in fondazione sono limitate ad indicazioni generiche relative alla distribuzione delle pressioni neutre sul piano di posa.

Per le dighe di materiali sciolti, che vengono distinte in omogenee, zonate e dighe con dispositivo di tenuta con materiali artificiali, le prescrizioni riguardano i materiali da costruzione ed alcuni particolari costruttivi, nonché le verifiche di sicurezza.

Per quanto attiene alla qualità dei materiali, il Regolamento vieta l'impiego di materiali friabili o alterabili al contatto dell'acqua e dell'aria e contenenti in sensibile misura residui organici o sostanze solubili.

Le caratteristiche geotecniche dovranno essere accertate in fase di progettazione esecutiva con prove di laboratorio ed eventualmente con misure su rilevati sperimentali. Nel giudizio di idoneità è da tener conto delle differenze che potranno verificarsi nei risultati per la diversità fra le condizioni di sperimentazione e quelle di posa in opera, nonché le condizioni in cui i materiali medesimi verranno a trovarsi a termine costruzione e durante l'esercizio del serbatoio.

La posa in opera avverrà per costipamento in stato di opportuna umidità. È esclusa la posa in opera con il procedimento idraulico.

Le prescrizioni sui particolari costruttivi riguardano il dispositivo di tenuta in fondazione, che sarà costituito con idonei taglianti, diaframmi, schermi di iniezioni, che assicurino la continuità fra la struttura di tenuta del rilevato e la formazione impermeabile di fondazione.

Qualora la tenuta in fondazione non sia realizzabile con tali provvedimenti, sono da adottare dispositivi atti a ridurre il gradiente delle quote piezometriche nei terreni di fondazione in misura tale da limitare il pericolo di sifonamento.

Un cenno è riportato sui filtri, con riferimento alla loro funzione di evitare fenomeni di erosione interna per effetto di filtrazione.

Condotte di qualunque specie non dovranno attraversare il corpo del rilevato.

Sempre con riferimento ai problemi geotecnici si osserva che nel computo del franco sono da tenere in conto i prevedibili abbassamenti del coronamento successivi al termine della costruzione derivanti dalla consolidazione del terreno di fondazione e del rilevato.

Nei calcoli geotecnici di stabilità della diga si dovrà

tener conto delle tre condizioni di termine costruzione, di serbatoio pieno e di vuotamento rapido; il coefficiente di sicurezza, nella definizione che si adotta normalmente nei metodi di equilibrio limite, è fissato, rispettivamente, a 1,2; 1,4; 1,2.

Per le opere ubicate in aree ritenute sismiche si raccomanda una scelta particolarmente accurata dei materiali da costruzione e delle modalità di posa in opera, specie con riguardo agli assestamenti; vengono prescritti incrementi del franco e della larghezza del coronamento, ed un ampio dimensionamento del nucleo, dei filtri, dei drenaggi. Le strutture con manto di tenuta dovranno essere protette, con opportuna ripartizione dei materiali nei riguardi granulometrici, a fronte di accidentale rottura del manto, dagli effetti dell'erosione interna sulla stabilità del fianco a valle.

Per le verifiche di sicurezza nei riguardi sismici si ammette il metodo dell'equilibrio limite con l'introduzione di opportune forze statiche per la simulazione delle azioni dinamiche. Il coefficiente di sicurezza non dovrà essere inferiore a 1,2.

Per le dighe di particolare importanza per altezza vengono raccomandate la verifica con metodi di analisi dinamica e la sperimentazione su modelli.

Per gli sbarramenti di tipo misto, costituiti in parte da strutture di calcestruzzo ed in parte da strutture di materiali sciolti viene prescritto uno studio particolare del contatto.

Per le traverse fluviali è prescritto un dettagliato rilievo della costituzione e delle proprietà geotecniche del terreno di fondazione; dovranno essere studiate le caratteristiche del moto di filtrazione nel sottosuolo e previsti i dispositivi per la limitazione delle perdite e per la sicurezza del manufatto.

Le verifiche di stabilità saranno da eseguire sia per le pile che per le strutture intermedie (platee), ponendo in conto anche le eventuali azioni sismiche.