

## 2

## Sicurezza e prestazioni attese

### 2.1 PRINCIPI FONDAMENTALI

Le opere e le componenti strutturali devono essere progettate, eseguite, collaudate e soggette a manutenzione in modo tale da consentirne la prevista utilizzazione, in forma economicamente sostenibile e con il livello di sicurezza previsto dalle presenti norme.

La sicurezza e le prestazioni di un'opera o di una parte di essa devono essere valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale. Stato limite è la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata.

In particolare, secondo quanto stabilito nei capitoli specifici, le opere e le varie tipologie strutturali devono possedere i seguenti requisiti:

- *sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU)*: capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone ovvero comportare la perdita di beni, ovvero provocare gravi danni ambientali e sociali, ovvero mettere fuori servizio l'opera;
- *sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE)*: capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio;
- *robustezza nei confronti di azioni eccezionali*: capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità delle cause innescanti quali incendio, esplosioni, urti.

*Requisiti di una struttura:*

- *RESISTENTE E DUTTILE* allo SLU
- *ACCETTABILE* allo SLE
- *ROBUSTA*
- *DUREVOLE*

*La "robustezza" è una caratteristica particolare che esprime la capacità della struttura di trovare un suo nuovo equilibrio in casi di eventi eccezionali. Si deve evitare il crollo della struttura al mancare accidentale di qualche elemento strutturale. Si deve evitare il crollo "a castello di carte", come quello avvenuto nel 1968 nel Rouan point apartment building; in tale evento, successivamente allo scoppio in un locale di un edificio a pannelli portanti, si verificò il crollo a catena di tutta l'ala interessata per l'intera altezza dell'edificio.*

Il superamento di uno stato limite ultimo ha carattere irreversibile e si definisce collasso. Il superamento di uno stato limite di esercizio può avere carattere reversibile o irreversibile.

Per le opere esistenti è possibile fare riferimento a livelli di sicurezza diversi da quelli delle nuove opere ed è anche possibile considerare solo gli stati limite ultimi.

Maggiori dettagli sono dati al Cap. 8.

La durabilità, definita come conservazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei materiali e delle strutture, proprietà essenziale affinché i livelli di sicurezza vengano mantenuti durante tutta la vita dell'opera, deve essere garantita attraverso una opportuna scelta dei materiali e un opportuno dimensionamento delle strutture, comprese le eventuali misure di protezione e manutenzione.

I prodotti e i componenti utilizzati per le opere strutturali devono essere chiaramente identificati in termini di caratteristiche meccanico-fisico-chimiche indispensabili alla valutazione della sicurezza e dotati di idonea qualificazione, così come specificato al Cap. 11.

I materiali e i prodotti, per poter essere utilizzati nelle opere previste dalle presenti norme, devono essere sottoposti a procedure e prove sperimentali di accettazione. Le prove e le procedure di accettazione sono definite nelle parti specifiche delle presenti norme riguardanti i materiali.

La fornitura di componenti, sistemi o prodotti, impiegati per fini strutturali, deve essere accompagnata da un manuale di installazione e di manutenzione da allegare alla documentazione dell'opera. I componenti, sistemi e prodotti, edili o impiantistici, non facenti parte del complesso strutturale, ma che svolgono funzione statica autonoma,

devono essere progettati e installati nel rispetto dei livelli di sicurezza e delle prestazioni di seguito prescritti.

Le azioni da prendere in conto devono essere assunte in accordo con quanto stabilito nei relativi capitoli delle presenti norme. In mancanza di specifiche indicazioni, si dovrà fare ricorso a opportune indagini, eventualmente anche sperimentali, o a normative di comprovata validità.

## **2.2 STATI LIMITE**

### **2.2.1 STATI LIMITE ULTIMI (SLU)**

I principali stati limite ultimi, di cui al § 2.1, sono elencati nel seguito:

- a) perdita di equilibrio della struttura o di una sua parte;
- b) spostamenti o deformazioni eccessive;
- c) raggiungimento della massima capacità di resistenza di parti di strutture, collegamenti, fondazioni;
- d) raggiungimento della massima capacità di resistenza della struttura nel suo insieme;
- e) raggiungimento di meccanismi di collasso nei terreni;
- f) rottura di membrature e collegamenti per fatica;
- g) rottura di membrature e collegamenti per altri effetti dipendenti dal tempo;
- h) instabilità di parti della struttura o del suo insieme.

Altri stati limite ultimi sono considerati in relazione alle specificità delle singole opere; in presenza di azioni sismiche, gli stati limite ultimi sono quelli precisati nel § 3.2.1.

### **2.2.2 STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)**

I principali stati limite di esercizio, di cui al § 2.1, sono elencati nel seguito:

- a) danneggiamenti locali (per esempio eccessiva fessurazione del calcestruzzo) che possano ridurre la durabilità della struttura, la sua efficienza o il suo aspetto;
- b) spostamenti e deformazioni che possano limitare l'uso della costruzione, la sua efficienza e il suo aspetto;
- c) spostamenti e deformazioni che possano compromettere l'efficienza e l'aspetto di elementi non strutturali, impianti, macchinari;
- d) vibrazioni che possano compromettere l'uso della costruzione;
- e) danni per fatica che possano compromettere la durabilità;
- f) corrosione e/o eccessivo degrado dei materiali in funzione dell'ambiente di esposizione.

Altri stati limite sono considerati in relazione alle specificità delle singole opere; in presenza di azioni sismiche, gli stati limite di esercizio sono quelli precisati nel § 3.2.1.

## 6

# Progettazione geotecnica

## i Introduzione

### i.1 Le terre

Si definisce terra il miscuglio di particelle che in natura è presente sulla superficie terrestre. Il terreno dal punto di vista chimico è costituito da particelle solide, relativamente libere di muoversi le une rispetto alle altre, immerse in un fluido che può essere acqua o aria. A seconda delle dimensioni medie dei singoli grani, le terre si suddividono in *ghiaia, sabbia, limo e argille*.

Ogni costruzione grava con il suo peso sulla superficie terrestre, trasmettendo sollecitazioni che devono essere assorbite dal terreno.

La conoscenza del terreno, e in particolare della sua idoneità a sopportare i carichi, è essenziale per una progettazione dei manufatti come opere di fondazioni o muri di sostegno che garantiscano il necessario grado di sicurezza e di stabilità strutturale.

L'errata valutazione delle caratteristiche del terreno può portare a gravi dissesti che possono pregiudicare la stabilità dell'opera.

Nei casi più semplici, cioè in presenza di terreni uniformi, il tecnico sa avvalersi dell'osservazione del comportamento di edifici costruiti in prossimità dell'area destinata al nuovo fabbricato.

Lo studio delle caratteristiche e del comportamento dei terreni sottoposti ai carichi è oggetto della meccanica dei terreni. La buona conoscenza del terreno non è solo essenziale per prevenire possibili dissesti degli edifici: essa permette anche di scegliere le fondazioni del tipo e delle dimensioni più adatti.

Non bisogna dimenticare che l'incidenza delle fondazioni sul costo complessivo dell'edificio è tutt'altro che trascurabile.

In definitiva, ogni edificio deve essere dotato di una fondazione che garantisca il necessario grado di sicurezza statica in relazione alle caratteristiche del terreno.

Le terre sono composte di tante parti, tra loro non omogenee; una suddivisione tra le particelle può essere fatta in base alla loro granulometria, ovvero in base alla dimensione dei granuli.

Tipi di terreni:

- *ghiaia* (qualche cm);
- *sabbia* (qualche mm) o rena;
- *limo* (meno di 1 mm) o polvere;
- *argilla* (meno del limo).

La ghiaia si estrae dal letto dei fiumi o dei torrenti, ovvero è presente in terreni in cui in epoche geologiche passate vi è stata l'azione di alluvioni di tipo fluviale.

I terreni che si trovano in tale situazione si dicono alluvionali. Esempi tipici sono le valli comprese tra montagne e il mare.

La sabbia deriva dall'azione chimico-fisica del mare, il quale porta in soluzione le parti calcaree e comunque quelle solubili delle rocce portate a valle dai fiumi. La sabbia è l'ultimo stadio del processo suddetto ed è composta sostanzialmente di particelle di quarzo di silice e di altri minerali che difficilmente entrano in soluzione e che hanno buona resistenza all'abrasione. Le particelle di sabbia sono visibili e la struttura granulare è dotata di una notevole resistenza interna. La sabbia è di natura marina mentre viene denominata rena quella di natura fluviale, e in genere la rena si trova nella parte terminale dei fiumi che hanno un bacino ricco di particelle con silicio e quarzo e che contemporaneamente hanno uno sbocco al mare con pendenza molto tenue, tale da permettere la sedimentazione delle particelle della rena stessa.

Il limo è visivamente simile alla polvere, con particelle molto piccole al limite del visibile; i terreni limosi sono caratteristici di zone in cui vi sono state in epoche geologiche passate delle alluvioni, ovvero esondazioni, che hanno lasciato delle zone con accumuli superficiali di acqua di tipo palustre. Le particelle in sospensione di dimensioni molto ridotte che compongono il limo richiedono un tempo relativamente lungo per sedimentare, ovvero per depositarsi sul fondo.

In sintesi, i terreni limosi sono spesso la derivazioni dei sedimenti di zone palustri. I granuli del limo sono approssimativamente di forma sferica.

Anche l'argilla deriva dalla sedimentazione lentissima tipica di zone palustri.

L'argilla è un terreno di tipo coesivo, ovvero internamente tra le particelle vi è un legame di tipo colloidale che fornisce al materiale una certa capacità di essere plasmato e modellato.

L'argilla vista al microscopio presenta particelle di forma molto appiattita, a scaglie lamellari o lenticolari che hanno una superficie di contatto elevatissima rispetto al loro volume; tale circostanza esalta l'influenza delle tensioni superficiali sul comportamento dell'ammasso di terra.

La forma delle particelle conferisce all'argilla un comportamento molto particolare. Per spiegare tale comportamento si può pensare che le particelle siano avvolte da molecole d'acqua isolate che si comportano come piccoli "dipoli" elettrici; esse si orientano e forniscono un legame tra le particelle di tipo elettrostatico, molto resistente. Questo legame elettrostatico è responsabile dell'effetto colloidale citato, che va sotto il nome di "coesione".

PARTICELLE DI ARGILLA  
AVVOLTE DA UN FILM  
D'ACQUA

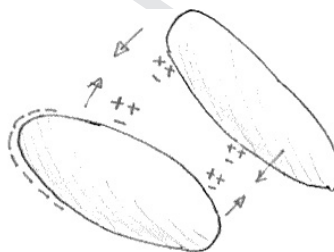


Figura 1

Al crescere del numero delle molecole d'acqua presenti tra le particelle il legame elettrostatico perde di forza poiché le molecole perdono la capacità di orientarsi e con grandi quantità di acqua il legame viene a mancare del tutto. Le particelle di argilla in tale situazione possono scivolare con facilità le une sulle altre; la coesione, quindi, diminuisce e si annulla addirittura al crescere del contenuto d'acqua tra le particelle.

L'argilla è molto pericolosa dal punto di vista delle costruzioni, perché con il crescere del contenuto d'acqua subisce un vistoso calo di coesione che si traduce in una ridotta resistenza alla penetrazione e in un aumento dei cedimenti sotto carico.

Sotto le fondazioni la perdita di consistenza si traduce in vistosi cedimenti e nelle opere di sostegno la perdita di coesione si traduce in un incremento vistoso della spinta; L'argilla può essere di tipo più o meno sensibile a seconda della variabilità dei parametri di resistenza che si registra all'aumentare del contenuto d'acqua.

Una netta separazione deve essere effettuata tra l'argilla e il limo poiché i due materiali hanno un comportamento sotto carico del tutto diverso.

Il limo si riconosce dal fatto che se secco è di tipo polvere non legata, mentre l'argilla secca in genere è molto compatta, laddove se bagnata diventa molto plastica.

Purtroppo in natura si trovano tanti casi in cui queste semplici considerazioni non bastano, per cui è opportuno far analizzare il terreno da laboratori specializzati.

## 1.2 Caratteristiche di una terra

### a) Peso specifico di una terra

Il peso specifico di una terra dipende dalla pesantezza dei granuli che la compongono, ma anche dal grado di addensamento tra le particelle e quindi dai vuoti in essa contenuti. Il peso specifico dipende inoltre dall'umidità e quindi dalla quantità di acqua presente nel terreno stesso.

Il peso specifico di un terreno è variabile da un minimo di circa 1.500 a un max di circa 2.400 daN/m<sup>3</sup>.

Il valore minimo si registra con materiali leggeri di origine vulcanica (per esempio il tufo), mentre i valori massimi si registrano per terreni rocciosi.

Per inquadrare il peso specifico della terra nello specchio seguente sono riportati i pesi specifici di alcuni materiali

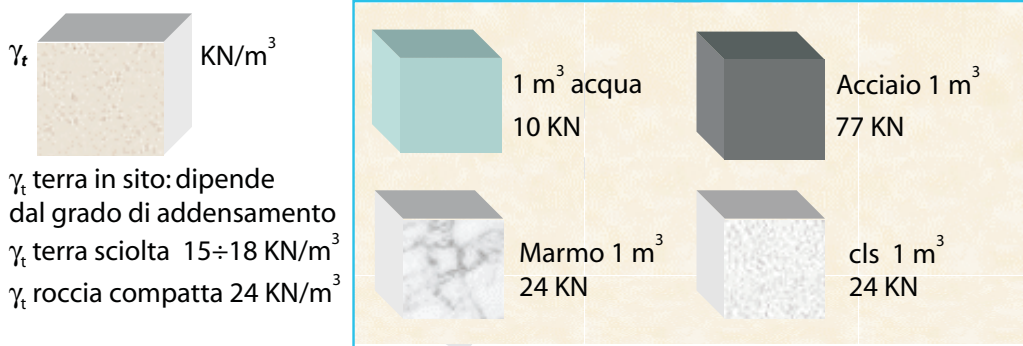


Figura 1

### b) Angolo di attrito interno $\varphi$

I terreni incoerenti (ghiaia, sabbia, limo) sono caratterizzati da particelle non legate fra loro. La capacità del terreno di sopportare un carico deriva dalla resistenza che le particelle oppongono all'azione di scorrimento.

In sostanza la resistenza meccanica è strettamente connessa alla resistenza di attrito interno delle particelle che entrano in contatto. Una quantificazione visiva del fenomeno è data dal "mucchio di terra".

Se un terreno è ammucciato in un sito, esso si pone in una forma particolare, contraddistinta da un angolo  $\varphi$  detto di "natural declivio" o angolo di attrito interno.

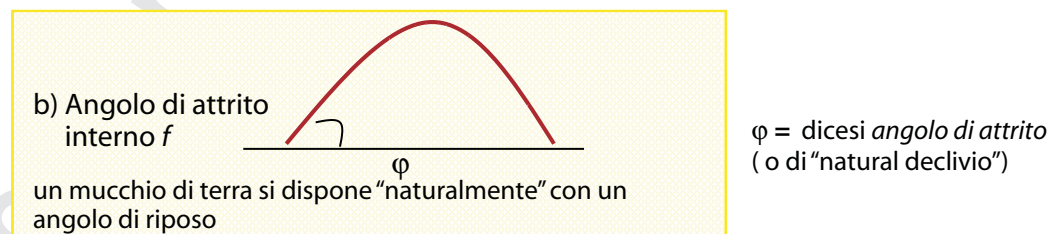


Figura 2

Esso quantifica l'autoportanza di una terra ed è anche proporzionale alla resistenza del terreno sotto una fondazione, oltre a quantificare la resistenza allo scorrimento.

### c) Coesione

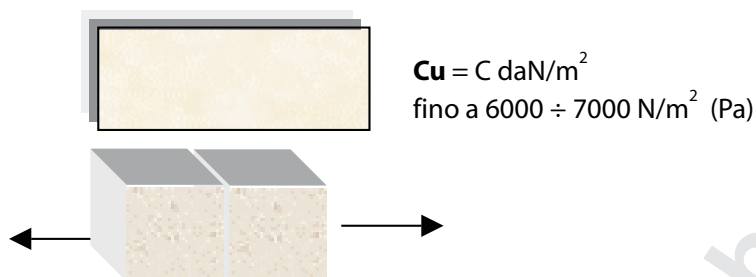


Figura 3<sup>1</sup>

È il grado di incollaggio tra le particelle, ovvero è la forza necessaria per rompere per trazione, ovvero per "scollare" due parti di terra. La coesione è molto importante per analizzare il comportamento di un terreno sotto carico o che spinge un muro di sostegno poiché l'incollaggio tra le particelle conferisce una resistenza interna al terreno che ne aumenta la capacità portante.

La coesione si manifesta come una caratteristica colloidale che fornisce il terreno di un comportamento plastico sotto le azioni meccaniche.

Il punto debole di questa capacità è che essa scema al crescere del contenuto d'acqua. Un terreno considerato coesivo quando è secco, può trasformarsi in fango semiliquido quando l'acqua riesce a entrare tra le particelle.

## 1.3 Principi di progettazione geotecnica

### → EC7

In questa parte si affrontano gli aspetti geotecnici del progetto di edifici e di opere di ingegneria civile; inoltre saranno presi in esame i requisiti di resistenza, stabilità, funzionalità e durabilità delle strutture, e gli aspetti dell'affidabilità dal punto di vista strutturale.

La norma sperimentale di riferimento è da utilizzare tenendo ben presente l'Eurocodice 1, in cui sono contenute tutte le regole tese al calcolo delle azioni che si generano nel terreno, a cominciare dalle spinte del terreno.

#### □ **Requisiti per la progettazione**

Affrontiamo ora il primo argomento, riguardante i requisiti per la progettazione.

La struttura deve essere progettata in conformità ai principi generali di progettazione enunciati nella ENV 1991-1 Eurocodice 1 "Basi di calcolo".

Volendo stabilire i requisiti minimi che le indagini geotecniche, i calcoli e i controlli in corso d'opera devono rispettare, si deve distinguere tra strutture leggere semplici e

<sup>1</sup> Cu: significa *undrained* (ovvero effettuata senza che l'acqua drena).



modeste opere di terra che non arrecano pericoli importanti alle persone e alle cose, e tutte le altre strutture geotecniche.

Per la progettazione geotecnica è invece indispensabile tenere conto della natura e delle dimensioni nel complesso, delle condizioni della zona circostante, del profilo del sottosuolo, e ancora delle situazioni della falda idrica, della sismicità regolare e dell'influenza dell'ambiente. Bisogna poi dettare i requisiti che occorre rispettare, e conviene introdurre 3 categorie geotecniche che chiameremo convenzionalmente 1, 2 e 3.

Ma prima di poter fare ciò va attribuita in via provvisoria la struttura a una delle tre categorie geotecniche. Fatta questa ulteriore osservazione possiamo finalmente passare alla descrizione delle categorie geotecniche.

#### Categoria geotecnica 1

Partecipano di questa categoria strutture relativamente semplici e di modeste dimensioni; semplici devono essere inoltre le situazioni del sottosuolo per le quali applicare le procedure di tale categoria, che non sono sufficienti neanche in presenza di scavi al di sotto della superficie libera della falda idrica.

Ecco alcuni esempi di strutture in categoria 1:

- edifici per abitazione civile, di 1 o 2 piani ed edifici rurali con massimo carico di progetto di 250 kN per pilastro, di 100 kN/m per muri continui e per i quali siano adottati tipi convenzionali di fondazioni dirette o su pali;
- muri di sostegno e scavi armati di altezza non superiore ai 2 m;
- modesti scavi per opere di drenaggio, posa in opera di tubi interrati ecc.

#### Categoria geotecnica 2

Comprende tipi convenzionali di strutture e fondazioni, né semplici come in categoria 1, né complesse come vedremo essere quelle comprese in categoria 3.

Vi rientrano per esempio:

- fondazioni superficiali, a platea e su pali;
- muri e altre strutture per il sostegno di terreno o di acqua;
- scavi, pile e spalle di ponti;
- rilevati e strutture di terra;
- tiranti e altri sistemi di ancoraggio;
- gallerie in roccia.

#### Categoria geotecnica 3

Strutture di notevoli dimensioni o di tipo speciale e strutture in zone di alta sismicità seguono invece i criteri costruttivi della 3<sup>a</sup> categoria.

Per questi casi è opportuno verificare l'ammissibilità delle deformazioni nelle condizioni di stato limite.

#### ❑ **Situazioni di progetto**

Le situazioni di progetto considerate nella progettazione geotecnica devono includere, qualora pertinenti:

- l'idoneità del terreno di sottofondazione;

- classificazione e posizione delle eventuali stratificazioni del sottofondo;
- eventuali stratificazioni inclinate;
- azioni e loro combinazioni;
- la natura dell'ambiente (eventuali scalzamenti, erosioni e scavi, agenti climatici, effetti del gelo, livello e variabilità delle acque di falda);
- terremoti;
- deformazioni tollerate dalla struttura;
- effetto di interazione della nuova struttura su quelle esistenti circostanti.

#### □ **Durabilità**

La progettazione geotecnica deve valutare le condizioni ambientali nei confronti della durabilità, in particolare per i materiali posti nel sottosuolo si devono considerare con particolare attenzione gli agenti aggressivi presenti nelle acque di falda per la durabilità di calcestruzzo e acciaio.

#### □ **Progettazione geotecnica basata sul calcolo**

Passiamo ora ad affrontare la progettazione geotecnica basata sul calcolo.

Essa utilizza il metodo semiprobabilistico con coefficienti parziali previsto da EC1, basato su:

- modelli di calcolo;
- azioni;
- proprietà dei terreni;
- dati geometrici;
- valori limite di deformazioni, ampiezza delle fessure, vibrazioni ecc.

Nell'ingegneria geotecnica la qualità e l'estensione delle indagini geotecniche determina la conoscenza della costituzione del sottosuolo.

Il modello di calcolo deve essere in grado di descrivere il comportamento del terreno nello stato limite considerato.

I modelli di calcolo possono basarsi su un metodo di analisi che fa riferimento a un modello analitico semplificato.

In sostituzione di modelli analitici, il modello di calcolo può essere una relazione empirica tra risultati di prove e requisiti di progetto.

Per quanto riguarda il legno, è un materiale facilmente attaccabile da parte di miceti e batteri anaerobici in presenza di ossigeno.

#### Azioni nell'ambito della progettazione geotecnica

In ogni calcolo i valori delle azioni sono quantità note.

Prima di eseguire qualsiasi calcolo, il progettista deve scegliere le forze e gli spostamenti imposti che verranno trattati come azioni nello specifico calcolo.

Nelle analisi geotecniche, si devono prendere in considerazione come possibili azioni:

- i pesi del terreno, della roccia e dell'acqua;
- lo stato tensionale iniziale in sito del terreno;
- le pressioni dell'acqua libera;

- le pressioni interstiziali o neutre (*ground water pressure*);
- le forze di filtrazione;
- i carichi permanenti, imposti e ambientali dovute alle strutture;
- i sovraccarichi;
- le forze derivanti dall'ormeggio;
- la rimozione di carichi o lo scavo del terreno;
- i carichi dovuti al traffico;
- i movimenti prodotti dall'attività mineraria;
- il rigonfiamento e il ritiro dovuti alla vegetazione, al clima o a variazioni di umidità;
- i movimenti dovuti a deformazioni viscoso o frane;
- i movimenti conseguenti alla degradazione, alla decomposizione, all'addensamento o alla consolidazione dovuta al peso proprio o alla dissoluzione;
- i movimenti e le accelerazioni prodotti da terremoti, esplosioni, vibrazioni e carichi dinamici;
- gli effetti della temperatura, compreso le variazioni di volume al gelo;
- le sollecitazioni dovute al ghiaccio;
- la pretensione applicata negli ancoraggi o nei puntoni.

Nello scegliere la durata delle azioni è bene tenere conto degli effetti del tempo sulle proprietà del terreno, soprattutto per quanto riguarda la permeabilità e la compressibilità di terreni a grana fine.

Nei casi di strutture geotecniche in cui le azioni idrostatiche siano influenti occorre valutare prima di tutto la quota della superficie dell'acqua libera o della falda idrica, in secondo luogo gli effetti favorevoli o sfavorevoli di eventuali drenaggi; in terzo luogo l'acqua proveniente da piogge e inondazioni e infine la variazione della pressione neutra.

Il progetto deve essere valutato e verificato con riferimento ai 3 casi A, B, C nel caso essi siano pertinenti.

I valori dei coefficienti parziali per le azioni permanenti e accidentali riportati nel prospetto seguente fanno riferimento alla verifica allo stato limite ultimo di fondazioni di tipo convenzionale. Per situazioni eccezionali tutti i coefficienti sono posti = 1.

**Tabella 1**

Caso	Azioni			Proprietà del terreno			
	Permanenti Sfavorevoli	Permanenti Favorevoli	Transitorie Sfavorevoli	$\tan\phi$	$c'$	$c_u$	$q_u$
A	1	0,95	1,5	1,1	1,3	1,2	1,2
B	1,35	1	1,5	1	1	1	1
C	1	1	1,3	1,25	1,6	1,4	1,4

Qualora si individui il caso più critico per il progetto è possibile non effettuare le verifiche per gli altri casi.

Il caso A è pertinente solo per i problemi di galleggiamento.

Il caso B risulta critico quando nel progetto di fondazioni e strutture di sostegno interviene la resistenza degli elementi strutturali, mentre il caso C in quelle situazioni che non implicano resistenza di elementi strutturali.

I valori di progetto delle spinte del terreno devono essere moltiplicati per  $\gamma_s = 1,35$  qualora l'azione risultante totale sia sfavorevole, per 1,00 nel caso in cui essa sia invece favorevole.

Nella maggior parte dei casi, per la verifica agli stati limite di servizio bisogna fare uso di coefficienti parziali unitari in riferimento a tutte le azioni permanenti e mutevoli.

Esaminiamo ora le proprietà del terreno: i relativi valori di progetto,  $\chi_d$ , si ottengono ricavandoli dai valori caratteristici  $X_k$ , servendosi della seguente formula:

$$X_d = X_k / \gamma_m$$

dove  $\gamma_m$  è il coefficiente di sicurezza per la proprietà del terreno o in taluni casi da definirsi direttamente.

La scelta dei valori caratteristici delle proprietà del terreno e della roccia si deve basare sui risultati di precedenti prove in laboratorio o su misure quantitative in sito.

In questa scelta è inoltre necessario far riferimento a:

- la documentazione geologica;
- l'estensione della zona di sottosuolo interessata;
- l'effetto delle attività costruttive sulle proprietà del terreno in sito.

#### □ **Relazione geotecnica di progetto**

È importante sottolineare che le ipotesi, i dati, i calcoli e i risultati delle verifiche di sicurezza e di funzionalità devono essere riportati in una *relazione geotecnica di progetto*.

Naturalmente le dimensioni e il livello di dettaglio della relazione saranno direttamente proporzionali a quelli del progetto, ma una relazione standard deve contenere:

- la descrizione del sito, del sottosuolo e della costruzione proposta incluse le azioni;
- la dichiarazione sulle norme e istruzioni adottate;
- la dichiarazione sul livello di rischio accettabile.

Se necessario deve inoltre comprendere un piano di supervisione e controlli.

#### □ **Dati geotecnici**

Per quanto riguarda i dati geotecnici, è molto importante che vengano registrati con cura, in modo tale che possano successivamente essere catalogati e interpretati: questi dati riguardano in genere la geologia, la morfologia e la sismicità, l'idrologia e la storia del sito.

Fondamentale, non dimentichiamolo, è inoltre la formulazione di *indagini geotecniche preliminari* allo scopo di accertare l'idoneità generale del sito, confrontarlo con siti alternativi ecc.

Esse consistono nell'esame dello stato dei luoghi, della topografia, dell'idrologia, nell'esame di strutture e scavi adiacenti, di carte e rilievi geologici e geotecnici, di fotografie aeree e ancora della cartografia antica, della sismicità regionale e di qualsivoglia altra indicazione significativa.

Alle *indagini* preliminari seguono quelle *di progetto*, eseguite per:

- acquisire le informazioni necessarie per progettare in maniera adeguata ed economica le opere permanenti e temporanee;
- acquisire le informazioni indispensabili a programmare il metodo costruttivo;
- segnalare eventuali difficoltà che possono presentarsi nel corso della costruzione.

È opportuno che un'indagine di progetto comprenda:

- stratigrafia;
- caratteristiche di resistenza e di deformabilità di ciascuno dei terreni interessati all'opera;
- distribuzione delle pressioni interstiziali nel sottosuolo;
- caratteristiche di permeabilità;
- eventuali fenomeni di instabilità nel sottosuolo;
- addensabilità del terreno;
- potenziale aggressività del terreno e dell'acqua di falda;
- fattibilità di intervento di miglioramento del terreno;
- sensibilità al gelo.

Sono da tenere presenti anche le seguenti caratteristiche del terreno:

- presenza di cavità;
- stato di degradazione delle rocce;
- effetti idrogeologici;
- faglie, giunti e altre discontinuità;
- terreni e ammassi rocciosi soggetti a fenomeni di microfessurazione (*creep*);
- terreni e rocce rigonfianti o collassabili;
- presenza di materiali di discarica o di riporto.

#### ❑ **Valutazione dei parametri geotecnici**

Le proprietà dei terreni, delle rocce e degli ammassi rocciosi sono espresse dai parametri geotecnici che vengono adottati nei calcoli di progetto.

Essi sono accettabili solo quando sono determinati sulla base dei risultati di prove in sito e di laboratorio e di altri dati pertinenti.

#### Caratterizzazione del tipo di terreno o roccia

Prima di intraprendere la spiegazione di altri argomenti è bene dare alcune tra le più importanti caratterizzazioni del terreno e della roccia. Per la loro identificazione possono essere utilizzate le seguenti proprietà:

- per i terreni:
  - distribuzione granulometrica;
  - forma dei grani;
  - scabrezza superficiale dei grani;
  - densità relativa;
  - peso dell'unità di volume;

- contenuto d'acqua naturale;
- limiti di Atterberg;
- contenuto di carbonati;
- contenuto di sostanze organiche;
- per le rocce:
  - composizione mineralogica;
  - costituzione petrografia;
  - contenuto d'acqua;
  - peso dell'unità di volume;
  - porosità;
  - velocità di propagazione del suono;
  - assorbimento rapido di acqua;
  - rigonfiamento;
  - indice di durezza;
  - resistenza a compressione uniassiale.

La resistenza che si ottiene dalle prove di compressione uniassiale consente di classificare le rocce, ma si possono impiegare anche procedure di prova più semplici come la prova di carico puntuale (*point load test*).

#### Peso dell'unità di volume

Le prove penetrometriche o le osservazioni relative alla resistenza del terreno consentono di stimare il peso dell'unità di volume in sito di sabbia e ghiaia.

#### Densità relativa

Importante è anche stimare la densità relativa del terreno, che ne esprime il grado di addensamento (questo solo per terreni non coesivi) rispetto alle condizioni di minimo e massimo addensamento come definite da procedure di laboratorio normate.

#### Grado di compattazione

Il grado di compattazione ci è dato dal rapporto tra il peso dell'unità di volume del terreno secco e il massimo peso dell'unità di volume del terreno secco ottenuto da una prova di compattazione normata.

La Proctor Standard è la prova di compattazione più frequentemente utilizzata.

#### Resistenza al taglio non drenata di terreni coesivi

Intervengono spesso a modificare la valutazione della resistenza a taglio non drenata  $C_u$  di terreni fini saturi i seguenti fattori:

- differenze tra stati tensionali in sito e durante la prova;
- disturbo del campione;
- anisotropia;
- fessurazione;
- effetti della velocità di prova;
- effetti di grandi deformazioni;
- effetti del tempo;

- eterogeneità dei campioni;
- grado di saturazione;
- il livello di affidabilità della teoria utilizzata.

Parametri di resistenza al taglio efficace in termini di tensioni efficaci per i terreni

Nella valutazione dei parametri di resistenza al taglio in termini di tensioni efficaci  $c'$  e  $\phi'$ , si devono considerare i seguenti fattori:

- il livello tensionale;
- la precisione nella determinazione del peso dell'unità di volume in sito;
- il disturbo durante il campionamento.

Rigidezza del terreno

Nella valutazione della rigidezza del terreno si devono osservare:

- le condizioni di drenaggio;
- il livello di tensione efficace media;

Resistenza a compressione uniassiale e deformabilità delle rocce

In questa valutazione, possono risultare influenti i fattori che seguono:

- orientazione del carico;
- metodo usato;
- numero e geometria dei campioni;
- contenuto d'acqua;
- durata della prova.

Resistenza a taglio dei giunti

Le condizioni che influiscono su tale valutazione sono:

- pressione interstiziale;
- possibilità di rottura progressiva.

Parametri di permeabilità e di consolidazione

Per tali parametri si deve tenere conto dei seguenti effetti:

- non omogeneità del terreno;
- anisotropia del terreno;
- fessure o faglie nel sottosuolo;
- variazioni tensionali.

Per meglio delineare questi parametri si opta spesso per eseguire prove in sito.

Parametri ricavati da prove penetrometriche

Da considerare:

- il tipo di cono impiegato;
- i risultati sono attendibili solo se è definita la successione stratigrafica; è pertanto necessario accompagnare le prove penetrometriche con sondaggi;
- gli effetti delle condizioni di falda e della tensione litostatica verticale nel terreno;
- le correlazioni esistenti con risultati di altre prove, come misure di densità e prove penetrometriche di altro tipo.

Numero di colpi da prove penetrometriche (standard penetration test e prove penetrometriche dinamiche)

Considerare:

- il tipo di prova;
- la modalità d'esecuzione della prova;
- il regime della falda idrica;
- l'influenza della tensione litostatica verticale;
- la natura del terreno.

Prove penetrometriche dinamiche per le prove pressiometriche

Nella determinazione dei valori della pressione limite e del modulo pressiometrico tenere conto delle seguenti condizioni:

- tipo di attrezzatura;
- procedura utilizzata per installare il pressiometro nel terreno (importante).

Parametri da prove dilatometriche

Si ottengono facendo uso di un dilatometro piatto tenendo in considerazione la procedura di infissione.

Compatibilità

Per la compatibilità di un materiale da riportare tenere conto del:

- tipo di terreno;
- della distribuzione granulometrica;
- della forma dei grani;
- dell'eterogeneità del materiale;
- del grado di saturazione o del contenuto dell'acqua;
- del tipo di attrezzatura da impiegare.

□ **Relazione sulle indagini**

I risultati dell'indagine geotecnica devono essere riportati nella relazione sulle indagini, la quale costituisce la base della relazione geotecnica di progetto.

Di solito queste sono le parti che compongono la relazione sulle indagini:

- presentazione delle informazioni geotecniche disponibili;
- valutazione geotecnica dei dati con le ipotesi formulate nella derivazione dei parametri geotecnici.

Presentazione delle informazioni geotecniche

Deve comprendere innanzitutto informazioni sul lavoro svolto in sito, sulle metodologie utilizzate e sul lavoro svolto in laboratorio con relative metodologie; inoltre è bene che comprenda anche le seguenti informazioni:

- scopo ed estensione dell'indagine geotecnica;
- breve descrizione del progetto;
- dichiarazione della categoria geotecnica prevista per la struttura;
- date di inizio e conclusione del lavoro svolto in sito e in laboratorio;
- procedure impiegate per il prelievo, il trasporto e la conservazione dei campioni;



- tipi di attrezzatura impiegati in sito;
- dati rilevati;
- nomi di consulenti e appaltatori;
- condizioni generali dell'area, con particolare riferimento a: presenza di falda idrica, comportamento di strutture adiacenti, faglie, affioramenti in cave e aree di prestito, aree di instabilità, difficoltà incontrate durante lo scavo;
- storia e geologia del sito;
- dati ottenuti da foto aeree disponibili;
- esperienza locale;
- dati concernenti la sismicità dell'area;
- quadri riassuntivi;
- dati relativi alle oscillazioni nel tempo della falda idrica;
- compilazione delle colonne stratigrafiche;
- raccolta e presentazione dei risultati delle prove in sito e di laboratorio in appendici.

#### Valutazione delle informazioni geotecniche

Deve comprendere:

- revisione del lavoro svolto in sito e in laboratorio;
- eventuale presentazione di proposte per ulteriore approfondimento delle prove in sito e di laboratorio.
- tabulati e presentazione grafica;
- determinazione della profondità della falda;
- profilo (o profili) stratigrafici;
- raccolta e presentazione dei valori per ogni strato.

#### ❑ **Supervisione in corso d'opera, controlli e manutenzione**

Al fine di garantire la sicurezza e la qualità di una struttura devono essere intraprese le seguenti attività (qualora pertinenti):

- supervisione del processo di costruzione e della qualità di realizzazione;
- controllo del comportamento della struttura durante e dopo la costruzione;
- adeguata manutenzione della struttura.

#### ❑ **Riporti, abbassamento del livello della falda idrica, miglioramento e rinforzo del terreno**

Le disposizioni nel presente punto si applicano quando adeguate condizioni del sottosuolo sono ottenute mediante:

- posa in opera di terreno e di materiale granulare;
- abbassamento del livello della falda idrica;
- trattamento del terreno;
- rinforzo del terreno.

Il terreno e il materiale granulare sono posti in opera in determinate e specifiche condizioni, che sono:

- riporti al di sotto di fondazioni e di platee;

- riempimento di scavi e riporti a tergo di strutture di sostegno;
- rilevati.

I requisiti fondamentali che devono essere soddisfatti sono che siano in grado di sostenere le azioni determinate dai carichi.

#### *Miglioramento e rinforzo del terreno*

Prima di scegliere un qualsiasi metodo di miglioramento o di rinforzo del terreno, deve essere condotta una indagine geotecnica al fine di conoscere le condizioni iniziali del terreno.

Il metodo di miglioramento deve essere scelto tenendo conto di:

- spessore e caratteristiche degli strati di terreno in sito;
- pressione interstiziale;
- natura, dimensione e posizione della struttura da realizzare;
- prevenzione dei danni a strutture o servizi adiacenti;
- durata del miglioramento del terreno;
- relazione tra il metodo di miglioramento e la successione delle fasi realizzative;
- effetti sull'ambiente;
- effetti a lungo termine.

È opportuno inserire gli interventi di miglioramento e di rinforzo nella categoria geotecnica 3. L'efficacia del miglioramento del terreno deve essere verificata.

*Il capitolo assume un'importanza storica. La norma tecnica è solo la parte cogente del corpo fornito dagli Eurocodici che finalmente entrano tutti in vigore, anche se nella loro forma di norma consigliata, seguendo il principio di base della 'deregulation' ereditato dal mondo anglosassone.*

Per quanto non diversamente specificato nella presente norma, si intendono coerenti con i principi alla base della stessa le indicazioni riportate nei seguenti documenti:

- Eurocodici strutturali pubblicati dal CEN, con le precisazioni riportate nelle Appendici Nazionali o, in mancanza di esse, nella forma internazionale EN;
- Norme UNI EN armonizzate i cui riferimenti siano pubblicati su Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea;
- Norme per prove, materiali e prodotti pubblicate da UNI.

Inoltre, in mancanza di specifiche indicazioni, a integrazione delle presenti norme e per quanto con esse non in contrasto, possono essere utilizzati i documenti di seguito indicati che costituiscono riferimenti di comprovata validità:

- Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;
- Linee Guida del Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;
- Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale e successive modificazioni del Ministero per i Beni e le Attività Culturali, come licenziate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e ss. mm. ii.;
- Istruzioni e documenti tecnici del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR).

Possono essere utilizzati anche altri codici internazionali, purché sia dimostrato che garantiscano livelli di sicurezza non inferiori a quelli delle presenti Norme tecniche.

## ALLEGATO A alle norme tecniche per le costruzioni: pericolosità sismica

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) adottano un approccio prestazionale alla progettazione delle strutture nuove e alla verifica di quelle esistenti. Nei riguardi dell'azione sismica l'obiettivo è il controllo del livello di danneggiamento della costruzione a fronte dei terremoti che possono verificarsi nel sito di costruzione.

L'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire da una "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A nelle NTC).

Le valutazioni della "pericolosità sismica di base" debbono derivare da studi condotti a livello nazionale, su dati aggiornati, con procedure trasparenti e metodologie validate. I dati utilizzati per le valutazioni devono essere resi pubblici, in modo che sia possibile la riproduzione dell'intero processo.

La "pericolosità sismica di base", nel seguito chiamata semplicemente pericolosità sismica, costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche; le sue attuali fonti di riferimento sono indicate nel seguito del presente paragrafo.

La pericolosità sismica in un generico sito deve essere descritta in modo da renderla compatibile con le NTC e da dotarla di un sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali; tali condizioni possono ritenersi soddisfatte se i risultati dello studio di pericolosità sono forniti:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima  $a_g$  e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale  $H_{bpra}$  definite
- in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km);
- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno  $T_r$  ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi;

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata, nei modi chiaramente precisati dalle NTC, per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale. ?

La disponibilità di informazioni così puntuali e dettagliate, in particolare il riferimento a più probabilità di superamento, consente a un tempo di:

- a) adottare, nella progettazione e verifica delle costruzioni, valori dell'azione sismica meglio correlati alla pericolosità sismica del sito, alla vita nominale della costruzione e all'uso cui essa è destinata, consentendo così significative economie e soluzioni più agevoli del problema progettuale, specie nel caso delle costruzioni esistenti;
- b) trattare le problematiche di carattere tecnico-amministrativo connesse alla pericolosità sismica adottando una classificazione sismica riferibile anche a porzioni territoriali dei singoli comuni.

In particolare è possibile separare le questioni di cui al punto a) dalle questioni di cui al punto b); nel seguito del presente paragrafo si esamineranno le questioni relative al punto a); le questioni relative al punto b) saranno oggetto di specifico provvedimento.

Allo stato attuale, la pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati sul sito <http://essel.mi.ingv.it/>. Eventuali differenti pericolosità sismiche sono approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, previa istruttoria effettuata dal Dipartimento per la Protezione Civile, al fine di valutarne l'attendibilità scientifica e l'idoneità applicativa in relazione ai criteri di verifica adottati nelle NTC.

Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle NTC, dalle accelerazioni  $a_g$  e dalle relative forme spettrali.

Le forme spettrali previste dalle NTC sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima del terreno;
- $F_o$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T^*$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno  $T_R$  considerati dalla pericolosità sismica, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50-esimo percentile ed attribuendo a:

- $a_g$  il valore previsto dalla pericolosità sismica,
- $F_o \cdot e \cdot T_c^*$  i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica (la condizione di minimo è imposta operando ai minimi quadrati, su spettri di risposta normalizzati a uno, per ciascun sito e ciascun periodo di ritorno).

Le forme spettrali previste dalle NTC sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento. A tal fine occorre fissare:

- la vita di riferimento  $V_R$  della costruzione,
- le probabilità di superamento nella vita di riferimento  $P_v$  associate a ciascuno degli stati limite considerati, per individuare infine, a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche.

Tale operazione deve essere possibile per tutte le vite di riferimento e tutti gli stati limite considerati dalle NTC; a tal fine è conveniente utilizzare, come parametro caratterizzante la pericolosità sismica, il periodo di ritorno dell'azione sismica  $T_R$ , espresso in anni. Fissata la vita di riferimento  $V_R$ , i due parametri  $T_R$  e  $P_{V_R}$  sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante l'espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})} \quad [1]$$

Qualora la attuale pericolosità sismica su reticolo di riferimento non contempli il periodo di ritorno  $T_R^1$  corrispondente alla  $V_R$  e alla  $P_{V_R}$  fissate, il valore del generico parametro  $p$  ( $a_g, F_o, T^*$ ) a esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione, a partire dai dati relativi ai  $T_R$  previsti nella pericolosità sismica, utilizzando l'espressione seguente:

<sup>1</sup> Visto l'intervallo di riferimento attualmente disponibile, si considereranno solo i valori di  $T_R$  compresi nell'intervallo 30 anni  $\leq T_R \leq 2475$  anni; se  $T_R < 30$  anni si porrà  $T_R = 30$  anni, se  $T_R > 2475$  anni si porrà  $T_R = 2475$  anni. Azioni sismiche riferite a  $T_R$  più elevati potranno essere considerate per opere speciali.

$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \cdot \ln\left(\frac{T_R}{T_{R1}}\right) \cdot \left[\ln\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1} \quad [2]$$

nella quale:

$p$  è il valore del parametro di interesse corrispondente al periodo di ritorno  $T_R$  desiderato;

$T_{R1}$ ,  $T_{R2}$  sono i periodi di ritorno più prossimi a  $T_R$  per i quali si dispone dei valori  $p_1$  e  $p_2$  del generico parametro  $p$ .

I valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T^*c$  relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento sono forniti nelle tabelle riportate nell'ALLEGATO B.

Per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri  $p$  ( $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T^*c$ ) di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici, attraverso la seguente espressione:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}} \quad [3]$$

nella quale:

$p$  è il valore del parametro di interesse nel punto in esame;

$p_i$  è il valore del parametro di interesse nell' $i$ -esimo punto della maglia elementare contenente il punto in esame;

$d_i$  è la distanza del punto in esame dall' $i$ -esimo punto della maglia suddetta.

Per tutte le isole, con l'esclusione della Sicilia, Ischia, Procida, Capri gli spettri di risposta sono definiti in base a valori di  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T^*c$  uniformi su tutto il territorio di ciascuna isola.

## ALLEGATO B alle norme tecniche per le costruzioni: tabelle dei parametri che definiscono l'azione sismica

### Generalità

In Tabella 1 vengono forniti, per 10751 punti del reticolo di riferimento e per 9 valori del periodo di ritorno  $T_R$  (30 anni, 50 anni, 72 anni, 101 anni, 140 anni, 201 anni, 475 anni, 975 anni, 2475 anni), i valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T^*c$  da utilizzare per definire l'azione sismica nei modi previsti dalle NTC. I punti del reticolo di riferimento sono definiti in termini di Latitudine e Longitudine ed ordinati a Latitudine e Longitudine crescenti, facendo variare prima la Longitudine e poi la Latitudine. L'accelerazione al sito  $a_g$  è espressa in  $g/10$ ;  $F_o$  è adimensionale,  $T^*c$  è espresso in secondi. In tabella 2, con metodologia e convenzioni analoghe, per tutte le isole, con l'esclusione della Sicilia, Ischia, Procida, Capri, vengono forniti i valori di  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T^*c$  (costanti su tutto il territorio di ciascuna isola).







Tabella 2

Isole	T <sub>R</sub> =30			T <sub>R</sub> =50			T <sub>R</sub> =72			T <sub>R</sub> =101			T <sub>R</sub> =140			T <sub>R</sub> =201			T <sub>R</sub> =475			T <sub>R</sub> =975			T <sub>R</sub> =2475		
	a <sub>g</sub>	F <sub>o</sub>	T <sub>C</sub>	a <sub>g</sub>	F <sub>o</sub>	T <sub>C</sub>	a <sub>g</sub>	F <sub>o</sub>	T <sub>C</sub>	a <sub>g</sub>	F <sub>o</sub>	T <sub>C</sub>	a <sub>g</sub>	F <sub>o</sub>	T <sub>C</sub>	a <sub>g</sub>	F <sub>o</sub>	T <sub>C</sub>	a <sub>g</sub>	F <sub>o</sub>	T <sub>C</sub>	a <sub>g</sub>	F <sub>o</sub>	T <sub>C</sub>	a <sub>g</sub>	F <sub>o</sub>	T <sub>C</sub>
Arcipelago Toscano, Isole Egadi, Pantelleria, Sardegna, Lampedusa, Linosa, Ponza, Palmarola, Zannone	0,186	2,61	0,273	0,235	2,67	0,296	0,274	2,70	0,303	0,314	2,73	0,307	0,351	2,78	0,313	0,393	2,82	0,322	0,500	2,88	0,340	0,603	2,98	0,372	0,747	3,09	0,401
Ventotene, Santo Stefano	0,239	2,61	0,245	0,303	2,61	0,272	0,347	2,61	0,298	0,389	2,66	0,326	0,430	2,69	0,366	0,481	2,71	0,401	0,600	2,92	0,476	0,707	3,07	0,517	0,852	3,27	0,564
Ustica, Tremiti	0,429	2,50	0,400	0,554	2,50	0,400	0,661	2,50	0,400	0,776	2,50	0,400	0,901	2,50	0,400	1,056	2,50	0,400	1,500	2,50	0,400	1,967	2,50	0,400	2,725	2,50	0,400
Alicudi, Filicudi,	0,350	2,70	0,400	0,558	2,70	0,400	0,807	2,70	0,400	1,020	2,70	0,400	1,214	2,70	0,400	1,460	2,70	0,400	2,471	2,70	0,400	3,212	2,70	0,400	4,077	2,70	0,400
Panarea, Stromboli, Lipari, Vulcano, Salina	0,618	2,45	0,287	0,817	2,48	0,290	0,983	2,51	0,294	1,166	2,52	0,290	1,354	2,56	0,290	1,580	2,56	0,292	2,200	2,58	0,306	2,823	2,65	0,316	3,746	2,76	0,324