



ALLEGATO VIII

Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica - DPC *Glossario - Linee Guida*

**Conferenza delle Regioni
e delle Province autonome**

Commissione protezione civile
Sottocommissione 8
Attuazione della normativa sismica

Presidenza del Consiglio dei Ministri

Dipartimento della protezione civile

Indirizzi e criteri per la

MICROZONAZIONE SISMICA

Glossario

Gruppo di lavoro *“Indirizzi e criteri generali per la microzonazione sismica”*

A cura di F. Bramerini, G. Di Pasquale, G. Naso, M. Severino



GLOSSARIO

A

Accelerogramma Grafico dell'andamento dell'accelerazione del suolo nel tempo dovuta al passaggio delle onde sismiche.

Aftershock Vedi **Repliche**.

Aliasing spaziale Insufficiente campionamento dei dati sugli assi dello spazio.

Ampiezza d'onda Ampiezza massima (modulo) di una funzione sinusoidale che rappresenta un'onda e che corrisponde al massimo scostamento del sistema dalla posizione di equilibrio iniziale.

Ampiezza spettrale Ampiezza (modulo) della singola componente periodica utilizzata per rappresentare il moto del terreno nell'analisi di Fourier.

Amplificazione locale Modificazione in ampiezza, frequenza e durata dello scuotimento sismico dovuta alle specifiche condizioni lito-stratigrafiche e morfologiche di un sito. Si può quantificare mediante il rapporto tra il moto sismico alla superficie del sito e quello che si osserverebbe per lo stesso evento sismico su un ipotetico affioramento di roccia rigida con morfologia orizzontale. Se questo rapporto è maggiore di 1, si parla di amplificazione locale.

Analisi lineare equivalente Analisi di un fenomeno non lineare condotta mediante un modello lineare i cui parametri (equivalenti) sono determinati in modo da approssimare al meglio la risposta non lineare. Per le analisi di **amplificazione locale** in genere si effettuano diverse iterazioni per ciascuna delle quali si parte da valori iniziali dei parametri del modello elastico (tipicamente modulo di taglio e rapporto di smorzamento), si determinano le stime dei parametri di deformazione, in base a queste si determinano valori più approssimati dei parametri del modello e si procede fino a convergenza.

Analisi non lineare incrementale Integrazione passo-passo nel tempo delle equazioni del moto, con aggiornamento a ogni passo dei valori dei parametri deformazionali e/o di resistenza.

Anisotropia Dipendenza delle proprietà fisiche e meccaniche in un mezzo; per esempio la velocità delle **onde sismiche** o la resistenza delle rocce dipendono dalla direzione considerata.

Antialiasing Filtraggio eseguito sui segnali campionati digitalmente per evitare la distorsione causata dall'introduzione di frequenze non presenti nel segnale per via di un inadeguato campionamento. Si effettua filtrando prima del campionamento tutte le frequenze al di sopra della frequenza di Nyquist, che costituisce la più alta frequenza che può essere correttamente definita da un certo campionamento.

Arias (intensità di) Parametro caratteristico del moto sismico del terreno, derivato da un **accelerogramma** e proporzionale all'inten-



Glossario

◇ INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA

[VI]

grale nel tempo dell'accelerazione al quadrato. Ha le dimensioni e le unità di misura di una velocità (m/s o cm/s). È un efficace indice di pericolosità per i problemi di liquefazione e di stabilità dei pendii in condizioni sismiche. Può anche essere utilizzato come uno degli indicatori del potenziale distruttivo del sisma.

Array (antenna sismica) Disposizione ordinata, secondo opportune geometrie, di sismometri o geofoni, i cui dati confluiscono in modo sincrono in un'unità centrale di acquisizione dati.

Asismico Non associato a un **terremoto**. Indica un territorio in cui non esistono sorgenti potenzialmente in grado di produrre terremoti significativi o aree nelle quali le tensioni nella roccia vengono accumulate per periodi ben più lunghi di quelli per cui si dispone di osservazioni/dati. In modo molto approssimativo, sono spesso indicate come asismiche quelle aree nelle quali non sono storicamente documentati terremoti. In quest'ultima accezione è opportuno utilizzare l'espressione "zone apparentemente asismiche".

Attenuazione Diminuzione di ampiezza del segnale sismico all'allontanarsi dalla sorgente. L'attenuazione è causata dalla dissipazione geometrica dell'energia delle **onde sismiche** (ovvero dalla diminuzione di densità di energia all'aumentare delle dimensioni del **fronte d'onda**) e dall'assorbimento (ovvero dalle proprietà anelastiche dei materiali).

B

Bedrock Roccia compatta, rigida, non alterata, in affioramento o alla base di rocce/terreni meno rigidi o di sedimenti sciolti. Usato comunemente dai geologi per riferirsi a qualsiasi roccia/terreno diagenizzato/consolidato che non ha subito i processi meteorici di alterazione e degrado o deformazioni tettoniche pervasive.

Bedrock sismico Sequenza litostratigrafica caratterizzata da una velocità delle onde di taglio V_s maggiore o uguale a 800 m/s.

BEM (Boundary Elements Method) Il metodo degli elementi al contorno, serve a risolvere le equazioni differenziali dell'equilibrio statico e dinamico in un dominio. Nel caso del problema della propagazione di onde nei terreni, il metodo si basa sulla conoscenza della soluzione della risposta di uno spazio elastico indefinito al carico concentrato in un punto (soluzione di **Green**) per poter trasformare le equazioni differenziali del moto, imponendo le condizioni al contorno, in un sistema di equazioni algebriche. Il metodo, a differenza di quello agli elementi finiti **FEM**, non richiede la schematizzazione di tutto lo spazio in cui si ricerca la soluzione, ma solo del contorno, cioè la superficie del terreno e i contorni delle zone a proprietà meccaniche uniformi. In tal maniera si riduce il numero delle equazioni da risolvere e quindi la complessità del problema. È possibile così considerare onde di qualsiasi tipo, di volume o di superficie con qualsiasi angolo di incidenza. Inoltre, a differenza del metodo degli elementi finiti **FEM**, soddisfa la condizione di radiazione all'infinito e pertanto non necessita di un contorno inferiore dove definire il moto sismico.

BPT (Becker Penetration Test) La prova di penetrazione del Becker è usata in sabbie grossolane e ghiaie in cui la resistenza alla pene-



Glossario

◇ INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA

[VII]

trazione fornita dalle particelle di grandi dimensioni invalidi le correlazioni di resistenza alla penetrazione con la densità del terreno. Nel BPT, un tubo d'acciaio con un'estremità aperta o chiusa di diametro pari a circa 140 millimetri è guidato attraverso le ghiaie grossolane e i ciottoli con un martello battipalo diesel. Il metodo fornisce una registrazione continua della resistenza alla penetrazione con la profondità che può essere correlata con le proprietà geotecniche della stratigrafia del terreno. È una prova utilizzata in depositi di terreni a grana grossa (sabbie grossolane, ghiaie e ciottoli) nei quali la prova **SPT** non fornisce risultati attendibili. La prova consiste nell'infiggere nel terreno per 300 mm un tubo di rivestimento con punta chiusa, di diametro pari a circa 140 millimetri, utilizzando un martello battipalo diesel, e nel contare il numero di colpi necessari per la penetrazione. La prova fornisce una registrazione continua della resistenza alla penetrazione con la profondità che può essere correlata con le proprietà geotecniche dei terreni.

C

Campionamento
(passo di, frequenza di)

Nel processo di digitalizzazione di un segnale analogico, il numero di volte al secondo in cui tale segnale viene misurato e digitalizzato

Cataclasite

Si forma quando le rocce sottoposte a deformazione di taglio lungo una superficie di faglia (in condizioni per le quali i materiali hanno comportamento fragile) vengono triturate e frammentate meccanicamente; il fenomeno si verifica lungo una fascia con spessori anche notevoli (fino a decine o centinaia di metri), entro la quale la roccia assume una tessitura cataclastica, cioè un aspetto brecciato (con frammenti spigolosi di tutte le dimensioni), a volte a bande, per effetto del moto di trascinamento. Se il processo si verifica in profondità, si può arrivare a effetti che rientrano nel dominio delle trasformazioni metamorfiche (miloniti).

CDP (*Common Depth Point*)

Nelle prove sismiche di acquisizione multicanale, in caso di stratificazione orizzontale, rappresenta il punto comune di riflessione da un riflettore in profondità, tra punti sorgente e ricevitori egualmente spazati tra la verticale del CDP. In caso di strati inclinati, questa geometria non è rispettata ed è necessaria una correzione applicata ai dati denominata Dip.

Codici di simulazione numerica

Programmi di calcolo che impiegano metodi numerici per risolvere problemi fisici, in particolare della risposta sismica locale.

Coefficiente di Poisson

Esprime il rapporto tra la contrazione laterale percentuale e l'estensione longitudinale percentuale di un materiale soggetto a tensione.

Comportamento non lineare
(dei terreni)

Risposta del terreno, in termini di legame tensione-**deformazione**, non descrivibile con una funzione lineare. Il comportamento dinamico dei terreni al crescere del livello di deformazione è descrivibile come lineare (indipendente dalla **deformazione** e dal numero di cicli), non lineare stabile (dipendente dal livello di **deformazione**



Glossario

◇ INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA

[VIII]

ma non dal numero di cicli), non lineare (dipendente dal livello di **deformazione** e dal numero di cicli). Le soglie di **deformazione** che definiscono questi campi sono funzione del tipo di terreno.

Comportamento viscoelastico Proprietà di un materiale che, sottoposto a sollecitazione, esibisce istantaneamente una deformazione elastica, che nel tempo si incrementa, anche sotto carico costante. Nel caso di sollecitazioni dinamiche, il materiale esibisce una reazione che in parte è proporzionale alla deformazione (lineare) e in parte alla velocità di deformazione (viscoso).

Conoide (di detrito) Forma di accumulo gravitativo di materiale detritico generato dalla degradazione meteorica lungo un versante, che viene convogliato verso il basso lungo un solco o un canalone, che ne risulta ampiamente colmato. Tale forma si allarga verso il basso, dove si appoggia ai terreni alla base del versante, e si restringe verso l'alto, terminando con un apice entro la parte del solco ancora libero dall'accumulo. I materiali che via via si accumulano su quelli già messi in posto si distribuiscono in modo da disegnare complessivamente un settore di superficie conica.

Cono sismico Tecnica di indagine analoga alla prova Down-Hole in cui un sensore triassiale è spinto direttamente nel terreno tramite un penetrometro, invece che calato in un sondaggio rivestito. Ha il vantaggio del contatto diretto sensore-terreno e l'assenza dei disturbi dovuti alla perforazione del sondaggio e al condizionamento dello stesso; gli svantaggi sono legati ai problemi di penetrazione del sensore analogamente alle prove penetrometriche.

Convoluzione Operazione matematica che permette di modificare lo **spettro di Fourier** di un segnale a seguito dell'applicazione di un filtro o della propagazione in uno specifico sistema (per esempio un segnale sismico che attraversa una sequenza di strati con caratteristiche meccaniche differenti).

CPT (Cone Penetration Test) Prova penetrometrica statica eseguita infiggendo nel terreno, con un martinetto meccanico o idraulico, secondo modalità standardizzate, una punta conica posta all'estremità di una colonna di aste. Nella prova, la forza imposta per spingere o guidare (infiggere) a velocità costante un cono d'acciaio di dimensioni standard in un terreno è usata come misura di alcune proprietà del terreno. Il cono standard ha un'apertura apicale di 60° e un'area della punta di 10 cm². Il penetrometro è inserito a una velocità di 2 cm/s. I risultati sono esplicitati come resistenza alla punta q_c e resistenza laterale f_s , i quali possono essere correlati alla coesione non drenata c_u o all'angolo di attrito del terreno.

Cross-Hole Prova sismica eseguita realizzando due o più fori (di solito a pochi metri di distanza) in cui si installa una sorgente di impulsi verticali e uno o più ricevitori (geofoni). Note le distanze che le onde percorrono e misurati i tempi di **primo arrivo** e/o le ampiezze delle onde elastiche, si possono calcolare le velocità delle **onde sismiche** (V_s , V_p) e possono essere determinati i parametri elastici della roccia/terreno. A seconda del metodo applicato, si ottiene o un valore medio integrale per la zona studiata, o una tomografia sismica del terreno.

Crosstalk Effetto indesiderato di trasmissione del segnale di un circuito o un canale di un sistema di acquisizione dati in un altro canale.



Glossario

◇ INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA

[IX]

CRR (Cyclic Resistance Ratio) Rapporto tra la resistenza a liquefazione di uno strato a una determinata profondità e la tensione verticale efficace litostatica a quella profondità.

CSR (Cyclic Stress Ratio) Rapporto tra lo sforzo di taglio indotto dal sisma a una determinata profondità e la tensione verticale efficace litostatica a quella profondità. Può essere determinato dal prodotto di: $\sigma'_{v0} / \sigma'_{v0}$ per a_{max} / g per r_d , con r_d fattore di riduzione della sollecitazione che diminuisce con l'aumento della profondità, g accelerazione di gravità, e a_{max} accelerazione massima attesa.

D

Damping ratio Vedi **Smorzamento**

Dati macrosismici Insieme di informazioni raccolte sul territorio interessato da un **terremoto** al fine di catalogare le diverse località in funzione dell'**intensità macrosismica** osservata.

Deconvoluzione (filtrazione inversa) Processo finalizzato al miglioramento della qualità del segnale, equalizzando le ampiezze, attenuando le multiple, ripristinando il contenuto alle alte frequenze ecc.. Queste operazioni sono indirizzate sostanzialmente al ripristino del segnale con gli effetti di filtraggio causato dal percorso nel sottosuolo. Costituisce operazione inversa della **convoluzione**. Può essere utilizzata per determinare la natura del filtro o la natura del segnale in ingresso. Ad esempio, se si conosce la forma esatta del moto sismico in profondità e in superficie, si possono deconvolvere i dati per determinare le proprietà di filtro degli strati di terreno attraverso cui il moto sismico è passato.

Deformazione (Strain) Variazione percentuale in lunghezza, forma, o volume di un corpo sottoposto a variazioni di stato tensionale.

Degradazione ciclica Riduzione di rigidità di un terreno al crescere del numero di cicli di carico applicati in condizioni non drenate. È particolarmente significativa in terreni coesivi teneri.

Densificazione Fenomeno di addensamento di un terreno granulare, più o meno repentino, a seguito di sollecitazione sismica.

Densità assoluta Massa dell'unità di volume di un terreno.

Densità relativa Esprime numericamente il grado di compattezza di un terreno sabbioso ed è definito dalla formula

$$D_r = \frac{e_0 - e}{e_0 - e_{min}}$$

dove:

e_0 indice dei vuoti corrispondente alla compattezza minima



Glossario

◇ INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA

[X]

e_{\min} indice dei vuoti corrispondente alla compattezza massima realizzabile in laboratorio
 e indice dei vuoti del terreno in sito

Depositi alluvionali

I materiali provenienti dall'azione erosiva dei corsi d'acqua che non riescono a raggiungere il mare, ma vengono abbandonati lungo il percorso per perdita di energia da parte della corrente. All'interno di tali depositi, gli elementi più grossi (ciottoli) appaiono smussati e in parte arrotondati, a causa del continuo sfregamento subito durante il trascinarsi e il rotolamento lungo l'alveo, mentre quelli più fini, trasportati in sospensione e ridotti alle dimensioni di granuli di sabbie o di argille, sono anche più elaborati. In un deposito alluvionale, con spessori anche di molti metri, si alternano ghiaie, più o meno grossolane, sabbie, silt e argille, in strati discontinui o in lenti, con rapidi cambiamenti laterali (eteropie) da un tipo all'altro.

Depositi flyschoidi (Flysch)

Voce dialettale della Svizzera tedesca: "terreno che scivola". Dal punto di vista litologico, flysch indica una successione continuamente ripetuta di due o più tipi litologici, come arenarie, silt e argilliti, oppure arenarie e marne, o ancora calcari e argille e così via, con spessori totali anche di migliaia di metri. Queste tipiche alternanze si formano spesso per un fenomeno di risedimentazione, che si verifica quando sedimenti come sabbie e argille, già accumulatisi al largo di una costa, vengono rimessi in movimento e scendono lungo un pendio sottomarino, fino a raggiungere il fondo pianeggiante di una piana abissale. In realtà, quella che si muove è una massa d'acqua con una densa sospensione di detriti che prende il nome di corrente di torbida; quando tale corrente arriva alla fine del pendio, perde energia e il materiale in sospensione si decanta: per prima si deposita la sabbia più grossolana, poi via via si depositano i detriti più sottili, fino alle argille: si origina così un banco di sedimenti di qualche metro. Il ripetersi nel tempo delle correnti di torbida porta all'accumulo uno sull'altro di migliaia di banchi: questi depositi vengono chiamati torbiditi.

Detrito di versante (fasce detritiche)

I materiali detritici che si formano per la degradazione meteorica delle rocce affioranti su un rilievo scendono gradualmente per azione della gravità e di altri agenti esogeni e rivestono i versanti non molto acclivi con un mantello di materiali sciolti, con spessori crescenti da monte verso valle. Gli accumuli sono formati dalla sovrapposizione di numerosi livelli di detriti, che appaiono discontinui lateralmente e costituiti da elementi spigolosi, le cui dimensioni aumentano mediamente verso valle. Si parla di fasce detritiche quando falde detritiche e **conoidi** si fondono o sono giustapposte.

Dilatometro sismico

Attrezzatura per la misura della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s , combinando una lama standard della prova **DMT** con un modulo sismico. La prova è concettualmente simile alla prova con cono sismico.

**Disaggregazione
(della pericolosità sismica)**

Tecnica numerica che permette, in uno studio di pericolosità sismica con metodo probabilistico, di individuare le coppie magnitudo-distanza che maggiormente condizionano la pericolosità sismica del sito.

Discontinuità sismiche

Superfici o strati sottili posti all'interno del profilo litostratigrafico in studio, attraverso i quali si verificano nette variazioni di velocità delle onde sismiche che corrispondono a zone di brusca variazione delle proprietà elastiche delle rocce.



Glossario

◇ INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA

[XI]

Dislocazione per faglia

Spostamento relativo tra due punti di un ammasso roccioso che venga tagliato dal manifestarsi di una **faglia**. L'entità di tale spostamento è chiamata rigetto e può essere misurata lungo il piano di taglio o secondo altre geometrie; in pratica si misura la distanza, dopo il movimento, di un punto su uno dei blocchi rispetto a un punto sull'altro blocco, che erano contigui prima del manifestarsi della **faglia**.

DMT (Dilatometer Marchetti Test)

Il dilatometro piatto consiste in una lama di acciaio inossidabile dotata, su una faccia, di una sottile membrana metallica espandibile, che, in condizioni di riposo, è alla pari con la superficie circostante. La lama viene spinta staticamente nel terreno mediante un penetrometro o mediante una sonda zavorrata. La lama è collegata, mediante un cavetto pneumatico, a una centralina in superficie; il cavetto passa attraverso le aste penetrometriche. A intervalli di 20 cm la penetrazione è sospesa e gas in pressione viene inviato alla punta. Vengono letti :

p_0 pressione alla quale la membrana inizia a espandersi contro il terreno;

p_1 pressione alla quale la deformazione al centro della membrana ha raggiunto 1 mm.

Down-Hole

Prova sismica in foro di sondaggio in cui una fonte sismica è disposta in superficie in prossimità della bocca di un pozzo e due o più geofoni vengono disposti a profondità stabilite all'interno del pozzo. I dati ottenuti da un'indagine sono i tempi di percorrenza delle onde di taglio e di compressione dalla sorgente ai geofoni. Questo metodo è usato comunemente per determinare la velocità delle onde di taglio e di compressione al variare della profondità.

Dromocrone

Curve tempo - distanza in cui in un asse è riportato il tempo a partire da un tempo t_0 di riferimento e nell'altro i primi arrivi delle onde elastiche analizzate.

Durata significativa di un terremoto

Porzione di una registrazione accelerometrica alla quale è associato il rilascio di gran parte dell'energia del **terremoto**. Spesso tale espressione è associata a una misura dell'energia fornita dall'intensità di **Arias**. In tal caso si considera l'intervallo di tempo fra i punti in corrispondenza dei quali tale intensità assume il 5% e il 95% del valore massimo.

E

Effetti locali (o di sito)

Effetti dovuti al comportamento del terreno in caso di evento sismico per la presenza di particolari condizioni lito-stratigrafiche e morfologiche che determinano **amplificazioni locali** e **fenomeni di instabilità del terreno** (instabilità di versante, liquefazioni, faglie attive e capaci, cedimenti differenziali, ecc.).

Elasticità

Comportamento meccanico dei materiali caratterizzati da una relazione lineare fra sforzi e deformazioni. Nei materiali elastici la **deformazione** indotta a seguito di una sollecitazione imposta viene completamente recuperata quando quest'ultima viene rimossa.

EPA (Effective Peak Acceleration)

Stimatore del potenziale distruttivo del **terremoto** da dati strumentali. Data la mancanza di una definizione stan-



Glossario

◇ INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA

[XII]

dard, si riporta una possibile definizione che definisce l'EPA come il 40% del valor medio dello **spettro di risposta** in accelerazione fra 2 e 10 Hz.

Epicentro Punto della superficie terrestre situato sulla verticale condotta dall'**ipocentro**.

F

Faglia Frattura che si produce in una roccia quando questa viene sollecitata da uno sforzo applicato. Lungo la frattura i due blocchi scivolano (**dislocazione**) l'uno rispetto all'altro.

Faglia attiva **Faglia** che presenta evidenze di scorrimento relativo tra due volumi di roccia/terreno avvenuto nel corso degli ultimi 40.000 anni, per cui si presume che lo scorrimento possa ancora verificarsi.

Faglia capace **Faglia attiva** ritenuta in grado di produrre fagliazione in superficie.

Falda acquifera (idrica) Accumulo di acqua che si forma nel sottosuolo in rocce permeabili limitate da un sottostante spessore di rocce impermeabili. L'acqua occupa spazi vuoti tra loro comunicanti (come quelli tra gli elementi di una roccia sedimentaria a tessitura grossolana non cementata, o come in rocce compatte ma fittamente fratturate), analogamente all'acqua che imbibisce una spugna. Se le rocce permeabili affiorano in superficie, l'acqua che penetra si muove verso il basso per gravità, finché non incontra un corpo roccioso impermeabile (acquicludo) che ne impedisce l'ulteriore discesa; l'acqua va allora gradualmente accumulandosi nel corpo permeabile (acquifero) e forma la falda idrica (o acquifera). Se il limite superiore dell'ammasso di acqua (superficie freatica) è libera di oscillare, a seconda dell'acqua che riceve, e può alzarsi fino a contatto con il terreno e ad affiorare, si parla di falda freatica. Se, invece, l'acquifero è compreso tra due acquicludi (sopra e sotto), si forma una falda imprigionata (che può alimentare i pozzi artesiani).

Falda detritica Forma di accumulo gravitativo che termina in alto secondo una linea suborizzontale.

Fase Stato in cui in un dato istante si trova un sistema caratterizzato da un moto periodico. Se un punto di un corpo è investito da un'onda sismica, la fase è, in un dato istante, l'ampiezza dello scostamento del punto rispetto alla posizione di riposo. Due parti del corpo che, a causa della sollecitazione sismica, nello stesso istante si trovano nel medesimo stato sono detti "in fase".

Fattore di sicurezza Fattore o valore affermato dalla pratica ingegneristica corrente, che esprime il rapporto tra resistenze massime disponibili da parte di un materiale e le sollecitazioni agenti, o quelle che si presume possano agire, in una struttura, o in un elemento o in una sua parte.

FEM (Finite Elements Method) Metodo numerico approssimato per risolvere le equazioni differenziali parziali, sostituendo le funzioni continue con approssimazioni polinomiali che descrivono il campo di spostamento di regioni finite elementi. Il metodo agli ele-



Glossario

◇ INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA

[XIII]

menti finiti riduce il problema dell'individuazione della soluzione nel continuo a quello della soluzione di un sistema di equazioni lineari.

Foreshocks Scosse sismiche che precedono un evento di **magnitudo** maggiore detto **mainshock**.

Fourier (analisi di) Operazione matematica che permette di rappresentare un andamento temporale continuo (per esempio, una registrazione del movimento al suolo) come una somma di funzioni elementari periodiche (componenti spettrali) ciascuna caratterizzata univocamente da una terna di valori: **frequenza, ampiezza e fase**.

Fourier (spettro di) Vedi **Spettro di Fourier**

Frana Movimenti lenti o improvvisi di ammassi rocciosi o di materiali sciolti per effetto prevalente della forza di gravità lungo versanti montuosi o lungo sponde fluviali e lacustri o lungo coste ripide. Il fenomeno è preparato dalla degradazione meteorica ed è sempre dovuto alle condizioni di equilibrio instabile in cui si vengono a trovare i pendii con angolo superiore a quello massimo "di riposo".

I meccanismi che portano all'innescio di una frana sono diversi: scalzamento alla base di una parete rocciosa a opera di acque correnti, frammentazione meccanica in rocce coerenti fessurate provocata, in climi adatti, dall'alternarsi del gelo e disgelo, imbibizione da parte di acque di infiltrazione che rendono plastiche rocce come quelle argillose e così via. Anche i meccanismi di discesa sono diversi: crolli e ribaltamenti improvvisi in rocce compatte fessurate o stratificate, per l'improvviso distacco di masse a picco o sporgenti da un versante; scivolamenti lungo un piano inclinato preesistente (**superficie di faglia** o di strato); scosscimenti lungo superfici di taglio di nuova formazione (a geometria piana o tipicamente curva). Il termine frana si applica anche a movimenti in massa relativamente lenti, quali i colamenti e gli smottamenti (più piccoli e superficiali) lungo pendii in rocce argillose, a seguito di piogge, che provocano l'ammollimento e l'appesantimento dei materiali più superficiali a opera dell'acqua. Nella realtà i fenomeni franosi sono complessi e in un medesimo evento possono combinarsi cause di innescio e modalità di franamento diverse, con numerose varianti. Sono state elaborate, perciò, varie classificazioni delle frane, basate su parametri diversi (tipi di movimento, natura dei materiali coinvolti, ecc.) e con finalità differenti.

Fratturazione (di una roccia) In caso di comportamento fragile di una roccia uno dei primi effetti è la fratturazione della roccia. A seconda delle forme e dell'origine, le fratture possono essere definite come diaclasi, litoclasti, giunti stilolitici, ecc. In corrispondenza delle fratture non c'è movimento differenziale tra le parti della roccia. Le **faglie**, invece, sono fratture in cui si è verificato un movimento relativo tra le due parti.

Frequenza Numero di oscillazioni che un sistema in moto periodico compie nell'unità di tempo.

Frequenza fondamentale **Frequenza** più bassa alla quale un particolare sistema elastico vibra liberamente, quando non è influenzato da forze esterne o da **smorzamento**. Il reciproco del **periodo fondamentale**.

Fronte d'onda Superficie o linea di inviluppo di punti in **fase** di un sistema elastico investito da una perturbazione sismica.



Glossario

◇ INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA

[XIV]

Funzione di trasferimento Funzione complessa della **frequenza** che rappresenta in particolare il rapporto fra lo **spettro di Fourier** del moto sismico alla superficie di un terreno e quello relativo al basamento roccioso. Più in generale descrive l'amplificazione dell'**input sismico** nell'attraversamento dei terreni. Il modulo della funzione di trasferimento è denominato funzione di amplificazione.

G

Green (funzione di) Nel caso dei sistemi elastici, rappresenta la perturbazione indotta nel sistema dalla applicazione di una forza di volume impulsiva e puntuale. Dato che le sorgenti sismiche possono essere rappresentate come una somma vettoriale di forze di volume variamente combinate (per esempio, una doppia coppia di forze può essere utilizzata per rappresentare lo scorrimento di una **faglia** puntiforme), la funzione di Green rappresenta uno strumento essenziale per rappresentare la perturbazione sismica associata all'evento di frattura.

Granulometria Studio delle dimensioni dei granuli che sono alla base della tessitura delle rocce sedimentarie clastiche (cioè formate dall'aggregazione di frammenti provenienti dalla "demolizione" di altre rocce). I termini conglomerato, arenaria e argillite, e quelli equivalenti di ghiaia, sabbia e argilla, usati per sedimenti non litificati, indicano le tre classi granulometriche principali tradizionalmente usate per descrivere le rocce cosiddette terrigene. La granulometria è, quindi, l'analisi delle dimensioni e della frequenza relativa degli elementi (ciottoli, granuli, particelle) che compongono una roccia sedimentaria a tessitura granulare.

Gutenberg-Richter (legge di) Relazione tra la **magnitudo** dei **terremoti** e la **frequenza** con cui avvengono. La distribuzione degli eventi in funzione della dimensione segue una semplice legge di potenza: rappresentando in un grafico il logaritmo del numero di eventi in funzione della **magnitudo** o intensità si osserva un andamento lineare. Nei risultati sperimentali, il b-value (la pendenza della retta di regressione) è caratteristico dell'area in studio.

H

Housner (intensità di) Intensità di un **terremoto**, misurata attraverso l'area sottesa (nel campo di periodi compresi tra 0,1 e 2,5 secondi) dal suo spettro di velocità. Storicamente è riferita a uno spettro relativo a uno smorzamento pari al 20% di quello critico. È ritenuto essere un parametro correlato al potenziale distruttivo del **terremoto**. Per le applicazioni di **microzonazione**, spesso si utilizza lo spettro di pseudovelocità riferito a uno smorzamento del 5%.



Glossario

◇ INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA

[XV]

Impedenza sismica

Prodotto della densità del terreno per la velocità delle **onde sismiche**. Varia fra strati differenti di terreno ed è comunemente indicata con Z . Il contrasto di impedenza sismica fra strati di roccia adiacenti influisce sulle modalità di propagazione dell'energia sismica da un mezzo all'altro.

Intensità macrosismica

Valore numerico ordinale assegnato in base alla descrizione degli effetti del **terremoto** sulle persone, sugli oggetti, sulle costruzioni e sull'ambiente. In pratica corrisponde alla scelta di uno scenario di effetti rappresentativo della situazione osservata. La scelta riguarda un numero finito di possibili scenari (12 nelle scale moderne) caratterizzati da un livello crescente di severità. Non si tratta quindi di una misura in senso stretto, ma di una classificazione fatta secondo una scala empirica qualitativa. Esistono diverse collezioni di scenari ciascuna delle quali rappresenta una diversa scala macrosismica (Mercalli-Cancani-Sieberg o MCS, Mercalli Modificata o MM, Medvedev-Karnik-Sponheuer o MSK, European Macroseismic Scale o EMS, ecc.). Poiché nella sua definizione si prende in esame la percentuale di edifici danneggiati o distrutti e il comportamento di gruppi di persone, essa è sempre rappresentativa di un'area più o meno estesa (un paese, una cittadina, un quartiere) e quindi non può essere un dato puntuale (ad esempio relativo a una singola struttura). In alcune scale moderne (MSK, EMS) sono stati introdotti elementi informativi che hanno lo scopo di rendere la stima di intensità macrosismica indipendente dal livello di esposizione e dalla vulnerabilità delle strutture nell'area colpita.

Input sismico

Moto sismico ipotizzato alla base della struttura geologico-morfologica di un sito e del quale si intendono valutare i possibili effetti di amplificazione sismica.

Ipocentro

È il punto in cui si immagina che la rottura che genera un **terremoto** abbia origine. Più verosimilmente l'ipocentro non è un punto ma una regione dello spazio di dimensioni finite. La sua posizione è determinata dai tempi di arrivo delle prime onde P e S.

Isosisma o isosista

Linea di contorno delle aree in cui un **terremoto** ha avuto la stessa intensità macrosismica. Attualmente negli studi di macrosismica è poco utilizzata.

Liquefazione

Fenomeno per cui, in conseguenza dell'applicazione di azioni dinamiche quali le azioni sismiche agenti in condizioni non drenate, un terreno perde la propria resistenza al taglio. La causa sta nell'incremento delle pressioni interstiziali che segue alla sollecitazione dinamica: l'incremento, sommato al valore iniziale della pressione interstiziale, arriva a uguagliare il valore delle tensioni normali applicate determinando l'annullamento delle tensioni efficaci e dunque della resistenza. Sono particolarmente suscettibili di liquefazione dinamica i depositi superficiali di terreni granulari sciolti sotto falda.



Glossario

◇ INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA

[XVI]

Litostratigrafia Descrizione di una successione geometrica di rocce, nella quale si distinguono degli intervalli differenti tra loro solo per la natura delle rocce che li formano, a prescindere dalla presenza di associazioni fossilifere (base della biostratigrafia) o dall'età delle rocce (base della cronostratigrafia).

Lunghezza d'onda Distanza tra punti consecutivi che si trovano nella stessa **fase**.

M

Magnitudo Grandezza che definisce le dimensioni di un **terremoto**, è correlabile con l'energia liberata sotto forma di **onde sismiche** durante un **terremoto**. Viene calcolata a partire dall'ampiezza o dalla durata del **sismogramma**. La magnitudo è un valore logaritmico che venne definito originariamente da Richter nel 1935. Un incremento di una unità di magnitudo (ad esempio da 4.6 a 5.6) corrisponde a un incremento dell'ampiezza sul **sismogramma** di 10 volte e a circa un aumento di 30 volte dell'energia rilasciata. Non esiste né un limite inferiore, né un limite superiore del valore calcolato. Tranne in casi particolari, i terremoti di magnitudo inferiore a 2.5 non sono avvertiti dalla popolazione.

Esistono diverse scale di magnitudo. La magnitudo Richter, detta anche magnitudo locale (M_L), si esprime attraverso il logaritmo decimale del rapporto fra l'ampiezza registrata da un particolare strumento, il pendolo torsionale Wood-Anderson, e una ampiezza di riferimento. La magnitudo Richter può essere calcolata solo per terremoti che avvengono a distanza minore di 600 km dalla stazione che ha registrato l'evento. Per supplire alla limitazione sulla distanza posta dalla definizione della magnitudo Richter, per misurare terremoti avvenuti a più di 600 km sono state introdotte altre scale di magnitudo. Tra queste scale si possono ricordare le magnitudo di Volume (M_V) usate e basate sull'uso delle onde di volume (*body waves*, generalmente le onde S). Un'altra magnitudo è la magnitudo Superficiale (M_S), calcolata sulle onde superficiali. Al fine di calcolare la magnitudo di **terremoti** piccoli o moderati a distanza locale o regionale è stata introdotta la magnitudo di Durata (M_D), il cui calcolo è basato sulla misura della durata del sismogramma; il concetto di base è quello di ritenere a ragione che maggiore è la magnitudo di un evento, maggiore sarà la durata della registrazione. Per i terremoti più intensi si utilizza la magnitudo del **momento sismico** (M_w) che si esprime in scala logaritmica a partire dal **momento sismico** (cioè il prodotto dell'area della frattura per lo spostamento della faglia per la resistenza massima alla rottura della roccia). La scala M_w è stata definita in maniera tale da coincidere con la scala Richter per i terremoti inferiori a magnitudo 6-7.

Mainshock vedi **Scossa principale**

MASW *(Multichannel Analysis of Surface Waves)* Tecnica che prevede la generazione delle **onde di superficie** da una sorgente a impulso (martello) o da una sorgente vibratoria sinusoidale allineata con i ricevitori (in genere 24) equidistanti (interasse 1 metro) che viene progressivamente allontanata. Lo scopo della prova MASW consiste nel determinare il profilo di rigidezza del sito tramite la misura della velocità di propagazione delle **onde di superficie** di Rayleigh (V_r) e un successivo processo di inversione, attraverso il quale viene fornita una stima indiretta della distribuzione delle V_s .



Glossario

◇ INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA

[XVII]

Meccanismo focale Rappresentazione grafica e sintetica della geometria e della cinematica di rottura della **faglia** che origina l'evento sismico.

Microtremori Rumore sismico ambientale, caratterizzato da oscillazioni di piccola ampiezza, provocate da sorgenti naturali o antropiche (onde del mare, vento, piccoli movimenti terrestri, traffico ecc.). La maggior parte degli autori ritiene che i microtremori siano costituiti da onde di Rayleigh.

Microzonazione sismica Valutazione della pericolosità sismica locale attraverso l'individuazione di zone del territorio caratterizzate da comportamento sismico omogeneo. In sostanza la microzonazione sismica individua e caratterizza le zone stabili, le zone stabili suscettibili di amplificazione locale del moto sismico e le zone suscettibili di instabilità. Il prodotto finale di sintesi della microzonazione sismica è costituito da mappe del territorio in cui sono indicate:

- zone stabili, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di rilievo di alcuna natura (substrato geologico in affioramento con morfologia piatta o semi-pianeggiante);
- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto dell'assetto litostratigrafico e morfologico locale;
- zone suscettibili di instabilità, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio (non sono necessariamente esclusi per queste zone anche fenomeni di amplificazione del moto). I principali tipi di instabilità sono:
 - instabilità di versante
 - liquefazioni
 - faglie attive e capaci
 - cedimenti differenziali
 - tsunami e seiche

Milonite (fasce di) Roccia cataclastica a grana estremamente fine, che si forma a seguito di un'intensa deformazione cui sono sottoposte le rocce in una zona di **faglia**.

Mobilità ciclica Accumulo di sovrappressioni interstiziali e di deformazioni in condizioni non drenate con il raggiungimento di condizioni stazionarie di equilibrio secondo modalità che dipendono dal livello di carico ciclico applicato.

Modulo di taglio Rapporto tra sollecitazione e **deformazione** di taglio di un materiale/terreno.

Modulo di Young Modulo di elasticità longitudinale. Esprime il rapporto tra tensione e deformazione in condizioni monoassiali.

Momento sismico Caratterizzazione della sorgente di un **terremoto** in termini di dimensioni e orientazione della **faglia** di origine, entità dello scorrimento medio sul piano di **faglia** e della **rigidezza** del mezzo in cui la **faglia** si trova, dato dal prodotto del modulo di **rigidezza** per l'area di frattura per la dislocazione media (spostamento tra i due lati della **faglia**).

Moveout Differenza nei tempi di arrivo di un'onda riflessa misurata da ricevitori a due diverse posizioni. Si distingue in:

- *Normal MoveOut* (NMO) in caso di separazione sorgente ricevitore per riflettore piatto;
- *Dip MoveOut* (DMO) come effetto aggiuntivo in caso di riflettore inclinato.



Glossario

◇ INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA

[XVIII]

N

Nakamura (tecnica di)

Tecnica di analisi dei **microtremori** finalizzata alla determinazione della **frequenza** naturale di vibrazione di una data struttura sedimentaria. È basata sulla stima del rapporto fra l'**ampiezza spettrale** del microtremore misurato sul piano orizzontale e quello misurato nella direzione verticale. Per questo motivo la tecnica di Nakamura assume anche la denominazione di HVSR dall'acronimo inglese *Horizontal to Vertical Spectral Ratios*.

Tale tecnica si basa su tre assunzioni fondamentali:

- i **microtremori** sono originati da sorgenti locali superficiali, il contributo delle sorgenti profonde è trascurabile;
- l'**amplificazione** è dovuta alla propagazione delle onde all'interno di un singolo strato soffici superficiale situato su di un semispazio rigido;
- la componente verticale del moto non è soggetta a fenomeni di amplificazione.

NASW (Noise Analysis Surface Waves)

Metodo di prospezione passivo per la determinazione delle V_s tramite l'analisi della propagazione delle **onde superficiali**, utilizzando un sistema multicanale di sensori verticali e la misura del rumore sismico di fondo.

Newmark (analisi di)

Metodo di analisi utilizzato nella valutazione della stabilità di un pendio in condizioni dinamiche schematizzando la porzione in **frana** come un blocco rigido che scorre su un piano inclinato. Esso consente il calcolo degli spostamenti indotti dal sisma lungo una determinata superficie di scivolamento. Lo spostamento cumulato rappresenta un indice di stabilità del pendio.

Notch (filtri di)

In geofisica, filtri a reiezione di banda: è una combinazione di filtri che attenua fortemente i segnali che si trovano all'interno di una banda ristretta, lasciando invece inalterati i segnali che sono al di fuori.

O

Onde P

Onde sismiche longitudinali o di compressione e dilatazione; la vibrazione si sviluppa nella stessa direzione di propagazione delle onde. Sono dette anche "primae" perché raggiungono per prime l'**epicentro**.

Onde S

Onde sismiche trasversali (o di taglio): la vibrazione avviene perpendicolarmente alla direzione di propagazione dell'**onda sismica**. Sono dette anche dette "secundae" perché raggiungono per seconde l'**epicentro**.

Onde SV, SH

Onde di taglio polarizzate sul piano verticale (SV) od orizzontale (SH).

Onde sismiche

Modello fisico di propagazione di una perturbazione prodotta in un mezzo elastico (i cambiamenti di forma o di volume scompaiono una volta che le forze che li hanno generati vengono rimosse) da una sorgente di energia naturale



Glossario

◇ INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA

[XIX]

o artificiale. Esistono vari tipi di onde sismiche associate a diverse forme della perturbazione prodotta (**onde P** = primae, **onde S** = secundae, **onde superficiali** = longae, ecc.).

Onde superficiali (di Love e di Rayleigh)

Particolari **onde simiche** associate a una perturbazione che si propaga lungo la superficie della terra. Sono in genere frutto della combinazione di **onde P** e **S** e si propagano poco più lentamente di queste ultime. Dato che l'energia associata alle onde superficiali è vincolata al propagarsi alla superficie della terra, queste si attenuano meno delle altre fasi sismiche (per esempio le **fasi P** e **S** che si propagano anche all'interno della Terra) con la distanza; pertanto le onde superficiali tendono a dominare i sismogrammi dei **telesismi**. Le **onde superficiali** (onde di Rayleigh) sono presenti anche nelle code delle registrazioni di sismica a rifrazione e possono essere utilizzate per lo studio delle stratificazioni più superficiali tramite tecniche **MASW** e **SASW**.

Oscillatore

Nell'ingegneria sismica, l'oscillatore è soggetto a un moto impresso al vincolo e spesso viene utilizzato per rappresentare in modo semplificato il comportamento dominante di una struttura. Un sismografo è un oscillatore di questo tipo.

Oscillazioni libere

Vibrazioni dell'intera Terra dopo un **terremoto** molto energetico (**terremoto** con **magnitudo** superiore a 7.0). Nell'ingegneria sismica con lo stesso nome si indicano le vibrazioni di una struttura quando non sono più applicate a essa forze o spostamenti imposti.

P

Pericolosità sismica

Stima quantitativa dello scuotimento del terreno dovuto a un evento sismico, in una determinata area. La pericolosità sismica può essere analizzata con metodi deterministici, assumendo un determinato **terremoto di riferimento**, o con metodi probabilistici, nei quali le incertezze dovute alla grandezza, alla localizzazione e al tempo di occorrenza del **terremoto** sono esplicitamente considerati. Tale stima include le analisi di **pericolosità sismica di base** e di **pericolosità sismica locale**.

Pericolosità sismica di base

Componente della **pericolosità sismica** dovuta alle caratteristiche sismologiche dell'area (tipo, dimensioni e profondità delle sorgenti sismiche, energia e frequenza dei **terremoti**). La pericolosità sismica di base calcola (generalmente in maniera probabilistica), per una certa regione e in un determinato periodo di tempo, i valori di parametri corrispondenti a prefissate probabilità di eccedenza. Tali parametri (velocità, accelerazione, intensità, ordinate spettrali) descrivono lo scuotimento prodotto dal terremoto in condizioni di suolo rigido e senza irregolarità morfologiche (**terremoto di riferimento**). La scala di studio è solitamente regionale. Una delle finalità di questi studi è la classificazione sismica a vasta scala del territorio, finalizzata alla programmazione delle attività di prevenzione e alla pianificazione dell'emergenza. Costituisce una base per la definizione del **terremoto di riferimento** per studi di **microzonazione sismica**.



Glossario

◇ INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA

[XX]

Pericolosità sismica locale Componente della **pericolosità sismica** dovuta alle caratteristiche locali (litostratigrafiche e morfologiche, v. anche **effetti locali**). Lo studio della pericolosità sismica locale è condotto a scala di dettaglio partendo dai risultati degli studi di **pericolosità sismica di base (terremoto di riferimento)** e analizzando i caratteri geologici, geomorfologici geotecnici e geofisici del sito; permette di definire le **amplificazioni locali** e la possibilità di accadimento di fenomeni di instabilità del terreno. Il prodotto più importante di questo genere di studi è la carta di **microzonazione sismica**.

Periodo È la durata di una oscillazione di un sistema sottoposto a un moto periodico. È il reciproco della **frequenza**.

Periodo fondamentale Inverso della **Frequenza fondamentale**

Periodo di ritorno Intervallo di tempo che mediamente intercorre tra due terremoti di data **magnitudo**. Nel caso di valutazioni probabilistiche della pericolosità, assumendo l'indipendenza temporale tra eventi sismici, si può affermare che a un dato **periodo di ritorno** corrisponde una assegnata **probabilità di eccedenza** in un dato intervallo temporale [ad esempio il periodo di ritorno di 475 anni equivale a una **probabilità di eccedenza** del 10% in 50 anni].

Periodo sismico o sequenza sismica Serie di **terremoti** localizzati nella stessa area, in un definito intervallo temporale, che seguono (**aftershocks**) o precedono (**foreshocks**) un evento di **magnitudo** maggiore detto **mainshock**.

PGA (Peak Ground Acceleration) **Ampiezza** massima, in valore assoluto, della storia temporale dell'accelerazione del suolo (registrata o calcolata).

Piano di faglia Superficie lungo la quale i blocchi ai due lati di una **faglia** sono dislocati.

Picking Procedura di identificazione dei tempi di arrivo delle fasi sismiche nei segnali registrati.

Poisson (distribuzione di) Distribuzione delle probabilità che caratterizzano gli eventi discreti che si verificano in un certo arco di tempo indipendentemente l'uno dall'altro.

Poisson (modulo) Esprime il rapporto tra la deformazione trasversale e assiale di un corpo sollecitato assialmente e libero di dilatarsi. Tipici valori del modulo di Poisson per limi e sabbie sono compresi tra 0.2 e 0.4 rispettivamente per materiali sciolti e addensati; per le argille sature esso varia tra 0.4 e 0.5. Il valore massimo teorico per un'argilla satura sollecitata in condizioni non drenate (deformazioni volumetriche nulle) è pari a 0.5.

Pretriggering Procedura della fase di acquisizione dati, in cui l'inizio registrazione viene anticipato di una definita quantità di tempo rispetto al momento di **trigger**, che coincide con l'energizzazione.

Primo arrivo Primo segnale, tra quelli registrati, che può essere attribuito all'**onda sismica** che si propaga dalla sorgente.



Glossario

◇ INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA

[XXI]

Probabilità di eccedenza Probabilità che un certo parametro di scuotimento del suolo in una zona possa essere oltrepassato in un arco temporale specificato.

Profilo di velocità Descrive l'andamento della velocità delle **onde sismiche** in funzione della profondità.

R

Raggio sismico Linea immaginaria lungo la quale si propaga una frazione dell'energia trasportata dalle **onde sismiche**.

Rapporti spettrali (tecnica dei) Tecnica che permette di differenziare e caratterizzare la **risposta sismica locale** tramite registrazioni di forti/piccoli **terremoti**. La tecnica si basa sull'assunzione che lo spettro di un segnale sismico registrato a un sito è formato dal contributo di un termine di sorgente, uno di propagazione e uno di sito. Valutare gli effetti di sito a partire da una registrazione significa calcolare il termine di sito separandolo dagli altri termini, relativi alla sorgente e al percorso, che possono essere considerati uguali per due siti di registrazione. Di conseguenza il rapporto spettrale tra le registrazioni ottenute nel sito in esame e le corrispondenti registrazioni dello stesso evento sismico ottenute nel sito di riferimento (**bedrock**) fornirà direttamente una stima della funzione di amplificazione cercata.

Rapporto segnale-rumore Confronto fra l'ampiezza del segnale sismico e l'ampiezza del disturbo causato sia dagli strumenti sismici, sia da cause non sismiche.

Repliche Scosse secondarie che seguono la scossa principale in una sequenza sismica; il loro numero è in genere direttamente proporzionale alla grandezza della scossa principale e sono caratterizzate da un'energia minore rispetto all'evento principale. Risultano concentrate in un ristretto volume crostale circostante l'**ipocentro** dell'evento principale.

Resistività apparente In geoelettrica, ottenuta tramite la relazione $K \cdot V/I$ dove K è un fattore geometrico che tiene conto delle distanze relative degli elettrodi, V è la caduta di tensione misurata e I la corrente misurata.

Rete sismica Insieme di stazioni sismiche in una certa area geografica, collegate tra loro e/o con una centrale di ricezione dei dati.

Rigidità di una roccia Rapporto tra sollecitazione e **deformazione**.

Rigidità iniziale Rigidità a ridotti o nulli livelli di **deformazione**.

Rischio sismico Probabilità che si verifichi o che venga superato un certo livello di danno o di perdita in termini economico-sociali in un prefissato intervallo di tempo ed in una data area, a causa di un evento sismico.



Glossario

◇ INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA

[XXII]

Risonanza Fenomeno caratteristico della dinamica che si verifica quando la frequenza fondamentale di un corpo è prossima alle frequenze caratteristiche dell'eccitazione a cui esso è sottoposto. In tali condizioni e in assenza di smorzamento l'ampiezza del moto tende a crescere indefinitamente.

Risposta sismica locale Vedi **amplificazione locale**.

Rumore Perturbazioni naturali o artificiali incoerenti causate da una varietà di fattori e di sorgenti distribuite. Si distinguono solitamente fra rumore di fondo ambientale e rumore strumentale. Il primo è dovuto a fonti naturali (onde dell'oceano e vento, acque di ruscellamento, migrazioni di animali, movimenti glaciali, ecc.) e/o artificiali (traffico, macchinari, ecc.), mentre il rumore (interno) strumentale può essere dovuto al rumore "della luce intermittente" dei componenti elettronici e/o dei movimenti molecolari browniani nei componenti meccanici.

S

SASW Metodo che consente di ricavare il profilo delle **onde S** con la profondità relativa a un determinato sito in maniera indiretta, utilizzando una sorgente meccanica e più ricevitori, disposti in superficie. La prova, nella sua configurazione tradizionale, prevede l'utilizzo di una sorgente e due (o più fino a quattro) ricevitori disposti in superficie, allineati ed equidistanti, con la sorgente da una parte rispetto ai ricevitori.
(Spectral Analysis of Surface Waves)

Scala di intensità macrosismica Scala per la valutazione degli effetti dei terremoti su ambiente, persone, cose e costruzioni in una data zona. La scala d'intensità più comunemente usata in Italia è la Scala Mercalli Cancani Sieberg (MCS). Recentemente è stata definita anche una scala macrosismica europea (EMS).

Scala Richter Scala che misura la **magnitudo** di un **terremoto**.

Scarpata (morfologica) Ripido pendio che interrompe la continuità nella pendenza della superficie di un versante. Le scarpate corrispondono in genere all'affioramento di spessori di rocce più resistenti all'erosione di quelle sottostanti e/o sovrastanti, oppure con diversa giacitura geometrica, cioè con strati a reggipoggio (le cui testate vengono modellate in versanti a forte pendio) o a franapoggio (che danno origine più facilmente a pendii meno ripidi). Un tipo particolare di scarpata è quello che si forma lungo una **faglia**, che abbia fatto sollevare un settore rispetto a quello contiguo. In tale caso, in tempi vicini all'evento la scarpata corrisponde al settore rialzato, ma la successiva erosione può far arretrare la scarpata fino allo spianamento; a questo punto, se il movimento della **faglia** ha fatto sollevare terreni più erodibili, portandoli a contatto con terreni più resistenti, il proseguire dell'erosione porta a una nuova scarpata, che questa volta corrisponde al settore ribassato della **faglia**.

Scorrimento asismico Dislocazione di una **faglia** senza la generazione di **terremoti**.



Glossario

◇ INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA

[XXIII]

Scossa principale (Mainshock) Scossa più forte nell'ambito di un **periodo sismico** o sequenza.

Seiche Le onde che si generano quando piccoli bacini naturali, bacini artificiali, invasi di dighe e aree portuali sono investiti da movimenti del terreno, disturbi creati da fronti atmosferici o onde create da eruzioni vulcaniche.

Sforzo (Stress) Forza per unità di superficie che agisce all'interno di un corpo. Per caratterizzare completamente lo stato di sollecitazione in un punto sono richiesti sei valori: tre componenti normali e tre componenti di taglio.

Shot-gather Insieme di tracce sismiche relative a una certa sorgente; il *Common Shot Gather* invece è l'insieme di tracce relativo a una medesima posizione di sorgente.

Sismogramma Registrazione della scuotimento sismico (**terremoto**). Solitamente indica l'andamento nel tempo della velocità di spostamento del suolo.

SM (Metodo spettrale) Il metodo risolve il problema differenziale mediante l'approssimazione con polinomi trigonometrici o algebrici definiti globalmente sull'intero dominio. Il metodo risulta più accurato, con un'ottima efficienza di calcolo e numericamente stabile, permettendo una discretizzazione del continuo con elementi di dimensioni più grandi rispetto a quelli usati negli altri metodi.

Skin-effect Tendenza di una corrente alternata a distribuirsi su un conduttore in modo che la densità di carica risulti maggiore sulla superficie dello stesso.

Smorzamento (rapporto di, indice di, Damping ratio) Si definisce rapporto di smorzamento il rapporto tra il coefficiente di smorzamento (c) e il coefficiente di smorzamento critico (c_0) $D = c/c_0$. Lo smorzamento critico è quel valore dello smorzamento per il quale il moto libero non è oscillatorio. Esprime la capacità di un materiale o di una struttura di dissipare l'energia che lo attraversa. Se la sollecitazione ha un carattere oscillatorio, è espresso come il rapporto fra la quantità di energia ΔW che il sistema dissipa in una singola oscillazione e l'energia elastica massima W associata alla stessa oscillazione. Tradizionalmente assume la forma:

$$D = \frac{\Delta W}{4\pi W}$$

Spettro a probabilità uniforme Spettro di pseudoaccelerazione o di pseudovelocità o di spostamento, derivato da un'analisi di **pericolosità sismica di base** con metodologie probabilistiche, i cui punti hanno tutti la stessa probabilità di accadimento.

Spettro di Fourier Esprime, in funzione della **frequenza**, la variazione delle ampiezze delle singole armoniche ricavate dall'**analisi di Fourier** di una storia temporale.

Spettro di potenza Spettro che relaziona la potenza (energia nell'unità di tempo) e le frequenze di un evento.



Glossario

◇ INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA

[XXIV]

Spettro di risposta Curva che mostra la risposta massima di un insieme di **oscillatori** semplici armonici, smorzati di frequenze naturali differenti a una particolare registrazione dell'accelerazione al suolo di un **terremoto**. Gli spettri di risposta possono mostrare l'accelerazione, la pseudovelocità o lo spostamento relativo dell'**oscillatore** in funzione della **frequenza** (dell'**oscillatore**) propria per vari livelli di **smorzamento**. Nelle applicazioni ingegneristiche frequentemente si rappresenta lo spettro di pseudo accelerazione, che è abbastanza vicino a quello di accelerazione e consente di stimare correttamente gli spostamenti relativi della struttura rispetto alla base, quindi le sollecitazioni.

SPT (Standard Penetration Test) Prova penetrometrica dinamica eseguita facendo penetrare nel terreno, sotto i colpi di un maglio, un campionario posto sul fondo di un foro trivellato. Le caratteristiche delle apparecchiature e le modalità di esecuzione della prova sono standardizzate. Il numero di colpi (N_{SPT}) necessari per infiggere il campionario per 30.5 cm [1 piede] viene assunto come misura della resistenza alla penetrazione del terreno. È una prova significativa in terreni incoerenti dalla quale si possono trarre, tramite correlazioni empiriche, lo stato di addensamento e i parametri di resistenza al taglio dei terreni.

Spurie (frequenze) Discontinuità nella funzione di trasferimento dei geofoni al di sopra della frequenza di risonanza. Sono costituite dalla risonanza del sistema nella direzione perpendicolare al normale asse di lavoro e sono generalmente ad alta frequenza.

Stack (stacking) Elaborazione di una registrazione sismica consistente nell'aggiungere tracce ottenute da energizzazioni in sequenza, allo scopo di ridurre il rumore di fondo e migliorare la qualità complessiva del segnale.

Stoneley (onde di) Particolare tipo di onde di Rayleigh; tipicamente un tipo di onda di interfaccia, o di superficie, anche di grande ampiezza, e di bassa frequenza che può costituire la componente principale del rumore nelle prove in foro.

Stratificazione (strato) Indica la disposizione a strati sovrapposti, tipica delle rocce che si formano attraverso processi sedimentari (decanazione di sedimenti in acque tranquille, deposizione a opera di correnti idriche o eoliche, precipitazione chimica e così via). Lo strato è l'unità di base di una successione stratificata: è un parallelepipedo di forma tabulare, con uno spessore in genere molto piccolo (da centimetrico a metrico) rispetto all'estensione della lunghezza (tipicamente chilometri), ed è limitato da due superfici parallele (piani di stratificazione).
Gli strati hanno in origine giacitura prossima all'orizzontale, ma in seguito a deformazione meccanica (tettonica) possono assumere giacitura inclinata, fino a verticale e rovesciata, o possono risultare curvati (pieghe) e interessati da discontinuità (fratture e **faglie**). La stratificazione si dice concordante quando, in una serie, gli strati si sono depositi uno sull'altro, senza interruzioni, e sono rimasti paralleli tra loro; si definisce, invece, genericamente discordante quando la successione si è interrotta nel tempo (per vari motivi) e manca il parallelismo tra pacchi di strati di età diversa.

Stratigrafia (o successione stratigrafica) Ramo della geologia che ha come obiettivo la ricostruzione dell'ordine in cui si sono formate nel tempo le rocce della crosta terrestre, per risalire all'evoluzione di singoli settori di superficie, fino ad arrivare alla



Glossario

◇ INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA

[XXV]

storia geologica dell'intero pianeta.

La ricostruzione della successione stratigrafica avviene con alcuni principi fondamentali:

- il principio di sovrapposizione che fornisce l'ordine cronologico degli eventi che hanno portato alla formazione della serie;
- il riconoscimento delle facies che definiscono i diversi ambienti di formazione delle rocce;
- il riconoscimento di lacune e discordanze che mettono in luce fenomeni tettonici e sedimentari che hanno interessato la serie.

Substrato geologico

Roccia generalmente compatta, non alterata, che costituisce la base di rocce meno compatte o alterate o di sedimenti sciolti (**terreni di copertura**). Le rocce che formano la superficie terrestre sono continuamente sottoposte a degradazione atmosferica, con modalità e rapidità diverse in funzione del clima, del tipo di roccia, dell'acclività del terreno e così via. I prodotti dell'alterazione possono essere asportati dall'erosione per accumularsi altrove, cosicché la roccia affiora praticamente "allo stato originale", ma spesso rimangono in posto e danno origine a una copertura (che, in condizioni opportune, si trasforma in suolo). Tale copertura è ancora più rilevante dove si accumulano detriti e materiali di **frana** e di alluvioni, o anche prodotti dell'attività antropica (agricola, edilizia, di smaltimento). I materiali di copertura sono in genere poco consolidati ("sciolti") e rispetto a essi le rocce non alterate, più o meno in profondità, sono indicate come substrato geologico. Nel caso di problemi legati alla **risposta sismica locale**, si tratta di una roccia competente (solitamente del Meso-cenozoico, più raramente del Quaternario) che si sviluppa in profondità per molti metri. Caratterizzazioni geotecniche e geofisiche possono verificare se un substrato geologico sia anche un **bedrock sismico**.

Superficie di rottura

Superficie di taglio che si genera in un ammasso roccioso sottoposto a **sforzo**, quando si superi l'intervallo di deformazione elastica-plastica e si raggiunga il punto di rottura delle rocce coinvolte. Nel caso di sforzi tettonici, si può avere frattura di terreni senza spostamento delle due parti in precedenza a contatto (diaculasi), o con spostamento delle due parti (**faglia**). La superficie di rottura può arrivare ad affiorare in superficie e manifestarsi come una **scarpata morfologica**.

Superficie di faglia (o piano di faglia)

Superficie di taglio che delimita ognuno dei due blocchi separati dal manifestarsi di una faglia. Può essere totalmente levigata dall'attrito tra i due blocchi in movimento, tanto da essere chiamata "specchio di faglia". Può conservare strie o solchi tra loro paralleli, in genere con profondità millimetrica, prodotti dal trascinamento di minuscole particelle rocciose o di sporgenze e irregolarità sulle superfici dei due blocchi in movimento; la loro direzione geografica permette di risalire alla direzione del movimento relativo dei due blocchi (che può essere stato orizzontale oppure più o meno obliquo, fino a coincidere con la massima pendenza del piano di taglio), per cui strie e solchi vengono annoverati tra gli "indicatori cinematici".

A partire dal **piano di faglia** e per spessori da centimetrici a plurimetrici il blocco roccioso può risultare intensamente e minutamente fratturato, fino ad assumere le caratteristiche di una cataclasi o **breccia di frizione**.

Superficie di rottura di una frana

Superficie lungo la quale si muove il corpo di una **frana**. La superficie può essere un piano inclinato preesistente, quale per esempio una superficie di strato, o un piano neoformato.



Glossario

◇ INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA

[XXVI]

T

- Taglio torsionale ciclico (prova di)** Prova nella quale si realizzano condizioni di taglio semplice su provini cilindrici imponendo, dopo una fase di consolidazione in condizioni isotrope o anisotrope, una coppia torcente variabile nel tempo con legge periodica e a velocità ridotta in modo da potere trascurare gli effetti inerziali.
- Telesisma** **Terremoto** caratterizzato da una sorgente posta a più di 2000 km di distanza dal punto di osservazione.
- Tempo di arrivo** Tempo di registrazione di una particolare **fase** sismica rilevata da una stazione.
- Terrazzo fluviale** Ripiano roccioso o formato da materiali detritici (alluvionali), che si può trovare lungo il versante di una valle; la sua superficie è suborizzontale in senso trasversale alla valle, mentre degrada verso valle con pendenze prossime a quelle dell'alveo fluviale. Un terrazzo può comparire lungo entrambi i versanti della valle, tagliato in due dal corso attuale del fiume, o essere conservato, in certi tratti, solo su uno dei versanti o, ancora, può mancare per un settore della valle. La formazione dei terrazzi è dovuta all'abbassamento del livello di base dei fiumi (per movimenti tettonici o per variazioni eustatiche del livello del mare), cui corrisponde un aumento dell'erosione fluviale, che fa approfondire gli alvei: di conseguenza, del fondo delle valli precedenti all'erosione rimangono solo dei ripiani (terrazzi) lungo i versanti.
- Terremoto (ground motion)** Intenso scuotimento del terreno in un sito, come effetto della perturbazione elastica indotta dall'occorrenza di un rapido spostamento di grandi porzioni della crosta terrestre, in corrispondenza di una **faglia** posta all'interno della crosta stessa (sorgente sismica). L'entità del terremoto dipende dalle caratteristiche geometriche della **faglia** (momento sismico), dalle modalità di propagazione della perturbazione fra la sorgente e il sito e dalle caratteristiche lito-stratigrafiche e morfologiche di quest'ultimo.
- Terremoto di riferimento** In uno studio di **microzonazione sismica** è il moto rispetto al quale si calcolano i fattori di amplificazione.
- Terreni di copertura** Coltre costituita da sedimenti sciolti o roccia alterata, di spessore in genere da pochi metri a decine di metri, che ricopre una roccia compatta non alterata (substrato).
- Time history** Andamento nel tempo di grandezze (accelerazione, velocità o spostamento) che descrivono il movimento del suolo. Vedi anche **accelerogramma**.
- Traduzione (fattore di)** Fattore di trasformazione elettromeccanica. Esprime la sensibilità del sensore, essendo generalmente il rapporto tra l'entità della grandezza fisica da misurare (velocità del suolo, accelerazione) e il corrispondente voltaggio generato.
- Trigger** Dispositivo che consente l'inizio dell'acquisizione dati nel momento esatto della generazione del segnale usato per la prospezione. La precisione del sistema di **trigger** va assicurata particolarmente quando i tempi di percorso da acquisire sono brevi, come ad esempio in una prova Cross-Hole.



Glossario

◇ INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA

[XXVII]

Tsunami Serie di onde che hanno origine da un **terremoto**, terremoto sottomarino, attività vulcanica, **frane**, impatti meteoritici nel mare o vicino a esso. Il termine tsunami è ormai entrato in uso nella lingua italiana corrente, come sinonimo di maremoto. Tale uso non è del tutto corretto perché mentre con tsunami ci si riferisce alle onde, con maremoto, si indica prettamente un evento sismico avvenuto al di sotto di un fondale marino, e percepito sulla terraferma. Le onde possono raggiungere altezze fino a 20 m sul livello del mare. L'altezza di queste onde in mare aperto può essere quasi impercettibile rispetto alle dimensioni catastrofiche che possono assumere lungo le coste. L'altezza dell'onda dipende fortemente dal profilo e dalla forma delle coste. Le baie e le foci dei fiumi a forma di cono aumentano tale altezza.

U

Up-Hole (prova di) Indagine geofisica analoga alla prova Down-Hole, con la differenza che la sorgente meccanica è ubicata nel foro e i ricevitori sismici in superficie.

V

VSP (Vertical Seismic Profiling) Tecnica di indagine finalizzata alla definizione dei diversi campi d'onda (P e S dirette, onde di tubo, fasi riflesse) tramite il posizionamento di sensori in un foro e l'energizzazione lungo allineamenti radiali rispetto a bocca foro.

V_{s30} Velocità media delle onde di taglio nei primi 30 metri di sottosuolo. È definita come il rapporto tra 30 e la sommatoria dei rapporti tra lo spessore dello strato *i*-esimo e la corrispondente velocità *S*.



ACRONIMI E SIMBOLI

| | |
|---|--|
| A | Area |
| a | Accelerazione |
| a_c | Angolo critico |
| a_v | Indice o coefficiente di compressibilità (<i>m_v</i>) |
| a_{max} | Accelerazione massima attesa |
| c | Coesione |
| c' | Coesione in termini di tensione efficace o drenata |
| c_u | Coesione non drenata |
| C_c, C_s, C_r | Indici di compressibilità, rigonfiamento, ricomprensione, ottenuti da una curva e-log p |
| CD | Prova di taglio consolidata drenata |
| CU | Prova di taglio consolidata non drenata |
| c_v | Coefficiente di consolidazione volumetrica |
| D | Coefficiente di smorzamento |
| D_n | Diametro del percentile ennesimo di curva granulometrica |
| D_r | Densità relativa |
| E | Modulo di elasticità |
| e, e_e, e_m | Indice dei vuoti; generico, iniziale, medio, |
| e_{max}, e_{min} | di massimo e minimo addensamento |
| E_{ed}, E_d, E_p | Moduli di compressibilità da prove edometriche, dinamico, da pressimetro |
| F | Forza, generica, trasmessa attraverso i granuli |
| f_s | Resistenza laterale per attrito locale del penetrometro statico |
| g | Accelerazione di gravità |
| G | Modulo di taglio dinamico |
| h | Altezza |
| H | Altezza di carico, perdita di carico |
| h_{crit} | Altezza critica di scavi o di scarpate |
| i | Angolo di pendio |
| i | Gradiente idraulico |
| i_{crit} | Gradiente idraulico critico |
| I_e, I_p, I_r | Indice di consistenza, di liquidità, di plasticità, di rimaneggiamento |
| J_r, J_a, J_w, J_n | Indici di scabrezza, di alterazione, di riduzione per le condizioni idrauliche, di discontinuità |
| K | Modulo idrostatico di compressibilità o modulo di massa (<i>Bulk modulus</i>) |
| k | Coefficienti di permeabilità: generico, alla temperatura <i>T</i> |
| K_a, K_p, K₀ | Coefficiente di spinta: attiva, passiva, a riposo |
| M_d | Modulo di compressibilità da prova su piastra |
| m_v | Coefficiente di compressibilità volumetrico |



Glossario

◇ INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA

[XXIX]

| | |
|-------------------------|--|
| n, n_{\max}, n_{\min} | Porosità: generica, massima, minima |
| N | Forza normale |
| NC | Terra normalmente consolidata |
| Nc, Nq, Ny | Fattori di capacità portante, per coesione, per peso laterale del terreno, per dimensione della fondazione |
| Ns | Numero di stabilità ($1/N$ = Fattore di stabilità) nell'analisi stabilità di scavi |
| N_{SPT} | Numero di colpi allo Standard Penetration Test, generico, caratteristico |
| OCR | Grado di sovraconsolidazione P_c/P_o |
| P | Forza peso |
| p | Pressione, di contatto, carico permanente ripartito uniformemente |
| p_{amm} | Pressione di contatto ammissibile |
| p_c | Pressione di preconsolidazione |
| p_{crit} | Pressione limite marginale critica |
| p_{ult} | Pressione limite ultima (di rottura) |
| p_o | Pressione litostatica |
| Ps | Peso del campione secco |
| Pw, Pw' | Peso dell'acqua contenuto in un campione, peso del recipiente con sola acqua |
| PSV | Pseudo velocità spettrale |
| Q | Portata d'acqua |
| q_c | Resistenza alla punta del penetrometro statico |
| q_u | Resistenza alla compressione semplice |
| q_r, q_a | Carico di rottura, ammissibile |
| q_{lim}, q_p, q_t | Capacità portante di un palo, limite, di punta, laterale |
| R | Ritiro |
| Rd | Resistenza dinamica |
| Rp | Resistenza passiva, resistenza alla penetrazione |
| r_u | Coefficiente di pressione interstiziale |
| RQD | <i>Rock Quality Designation</i> |
| s | Coefficiente d'immagazzinamento |
| SC | Argilla (o terra) sovraconsolidata |
| S_r | Grado o percentuale di saturazione |
| S_t | Sensibilità |
| t | Tempo |
| T | Temperatura |
| T | Periodo |
| T | Forza di taglio: generica, d'esercizio, ultima |
| T_v | Fattore di tempo |
| U | Grado di consolidazione |
| U | Coefficiente di uniformità |
| u, u_o | Pressione interstiziale, generica, iniziale |



Glossario

◇ INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA

[xxx]

| | |
|---|---|
| UU | Prova non consolidata non drenata |
| V_p, V_s | Velocità onde P e onde S |
| V, V_o, V_g | Volume: generico o totale, iniziale, del gas |
| V_s, V_v, V_w | Volume: dello scheletro solido, dei vuoti, dell'acqua |
| v | Velocità di filtrazione |
| w, w_n | Contenuto % d'acqua, di un campione, allo stato naturale, igroscopica |
| w_p, w_{pl}, w_s | Limite liquido, plastico, di ritiro |
| α | Angolo di inclinazione della superficie del terreno |
| β | Angolo generico |
| $\gamma, \gamma_w, \gamma_o$ | Peso specifico: generico, dell'acqua, ottimale |
| $\gamma', \gamma'_o, \gamma'_{sat}$ | Peso specifico nella prova Proctor, immerso, secco, saturo |
| δ | Angolo d'attrito esterno |
| $\varepsilon, \varepsilon_a$ | Deformazione unitaria: generica, assiale |
| η | Coefficiente di viscosità |
| μ | Viscosità |
| ν | Coefficiente di Poisson |
| ρ | Densità della massa |
| ρ, ρ_w | Resistività della roccia, dell'acqua |
| ρ_a | Resistività apparente |
| σ | Coefficiente di classazione |
| σ, σ' | Tensioni normali: totale, efficace |
| $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \sigma_r$ | Tensioni totali in direzione x, y, z, radiale e tangenziale, |
| $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ | Tensioni principali |
| $\varphi, \varphi_{cr}, \varphi_{ult}$ | Angolo d'attrito (apparente) generico, a volume costante, ultimo |
| $\varphi', \varphi'_{cr}, \varphi'_{ult}$ | Angolo d'attrito basato sulle tensioni efficaci (cond. drenate) |
| φ'_u | Angolo d'attrito in termini di tensioni totali (cond. non drenate) |
| φ'_r | Angolo d'attrito residuo |