RELAZIONE GEOLOGICA STANDARD METODOLOGICI E DI LAVORO

Indice

1. Introduzione

2. Progetto Qualità

Divulgazione

Aggiornamento

3. Parte Prima: Modalità di Approccio

3.1. *Approccio Metodologico Generale*

3.1.1. Bozza disciplinare tipo per prestazioni geologiche

3.1.2. Premessa ed obiettivi del lavoro

3.1.3. Inquadramento geografico

3.1.4. Inquadramento geologico regionale

3.1.5. Caratterizzazione del volume geologico significativo

3.1.6. Approfondimenti, programmazione delle indagini e loro esito

3.1.7. Terre e rocce da scavo

3.1.8. Analisi delle pericolosità geologiche

3.1.9. Elementi di criticità

3.1.10. Attendibilità del modello geologico e fattibilità dell'intervento

3.1.11. Riferimenti bibliografici

3.1.12. Allegati cartografici

3.2. Approccio analitico

3.2.1. Standard 1 *Opere di sistemazione e completamento di fabbricati esistenti: adeguamento igienico-funzionale, sopraelevazione, strutture di recinzione di aree di pertinenza, ecc.*

3.2.2. Standard 2 *Costruzione di un edificio di modesto impegno costruttivo (minime pericolosità naturali)*

3.2.3. Standard 3 *Costruzione di un edificio di notevole impegno costruttivo (massime pericolosità naturali)*

3.2.4. Standard 4 *Progettazione stradale e ferroviaria*

3.2.5. Standard 5 *Progettazione di reti di distribuzione (fognarie, idriche, metanodotti, ecc.)*

3.2.6. Standard 6 *Interventi di stabilizzazione di aree in frana e/o di consolidamento di versanti*

3.2.7. Standard 7 *Indagini geologiche preordinate alla redazione di uno strumento urbanistico*

3.2.8. Standard 8 *Studio geologico nell'ambito di un piano attuativo*

3.2.9. Standard 9 *Studio geologico riguardante la localizzazione e la realizzazione di una discarica*

3.2.10. Standard 10 *Studio geologico riguardante la caratterizzazione di un sito inquinato*

3.2.11. Standard 11 *Studio idrogeologico per il prelievo e l'utilizzo di acque sotterranee*

3.2.12. Standard 12 *Studio idrogeologico per la delimitazione delle Aree di Salvaguardia di Risorse Idriche ad Uso Potabile*

3.2.13. Standard 13 *Studio geologico nell'ambito del progetto per attività estrattiva o per l'ampliamento di un sito già adibito ad attività estrattiva*
3.2.14. Standard 14 *Studio componente suolo-sottosuolo e ambiente idrico in procedure SIA, VIA, VAS e Valutazioni di Incidenza*
3.2.15. Standard 15 *Studio idrologico ed idrogeologico per realizzazione laghetti collinari*
3.2.16. Standard 16 *Studi in area urbana*
3.2.17. Standard 17 *Individuazione cavità sotterranee di origine antropica*
3.2.18. Standard 18 *Studi geologici nell'ambito della progettazione di aree cimiteriali*
3.2.19 Standard 19 *Studi geologici per concessioni di derivazione di acqua pubblica (sotterranea)*
3.2.20. Standard 20 *Studi geologici per concessioni di derivazione di acqua pubblica (superficiale)*
3.2.21. Standard 21 *Studi idrogeologici per la realizzazione di impianti di smaltimento reflui domestici*

4. PARTE SECONDA: Allegati analisi di pericolosità geologica

Allegato I - *Procedure di analisi di pericolosità per fenomeni di crollo:*
– Scheda crolli
– Valori dei coefficienti di restituzione e di rotolamento da letteratura

Allegato II - *Procedura pericolosità generata da colate e da scivolamenti che evolvono in colate:*
– Scheda per il censimento delle frane
– Scheda colate

Allegato III - *Procedura pericolosità trasporto solido e/o in massa su conoidi alpini*
– Scheda conoidi

Allegato IV - *Procedura di pericolosità generata da scivolamenti*

Allegato V - *Procedura di verifica di pericolosità sismica, microzonazione e analisi di risposta sismica locale*

Allegato VI - *Procedura di analisi di pericolosità per fenomeni valanghivi*

Allegato VII - *Procedura di riferimento per analisi di pericolosità legate a fenomeni vulcanici*

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

RELAZIONE GEOLOGICA STANDARD METODOLOGICI E DI LAVORO

1 - Introduzione

Il Consiglio Nazionale, visto il rapporto conclusivo della Commissione per la stesura degli standard della relazione geologica,

PREMESSO CHE

- l'art. 1 delle *Norme deontologiche riguardanti l'esercizio della professione del Geologo in Italia* entrate in vigore il 1° gennaio 2007 sottolinea l'interesse pubblico della professione ed il rigoroso rispetto della normativa vigente e delle disposizioni contenute nelle norme stesse in riferimento ai princìpi dell'etica professionale;
- l'art. 5 delle *Norme deontologiche riguardanti l'esercizio della professione del Geologo in Italia* entrate in vigore il 1° gennaio 2007 dispone che i fondamentali princìpi deontologici consistono in diligenza, competenza professionale, efficienza ed efficacia della prestazione professionale;
- l'art. 7 delle *Norme deontologiche riguardanti l'esercizio della professione del Geologo in Italia* entrate in vigore il 1° gennaio 2007 chiarisce che l'efficienza e l'efficacia della prestazione professionale è funzione della intrinseca difficoltà tecnica del lavoro affidato, dell'ampiezza della responsabilità assunta nonché della quantità del tempo e dell'intensità dell'impegno profuso;

VISTI

- l'art. 1 della legge 2/2/1974 n. 64 che dispone la realizzazione di specifici studi di carattere geologico nell'esecuzione di opere pubbliche e private da realizzare nel territorio della Repubblica;
- l'art. 20 della legge 2/2/1974 n. 64 che sanziona le violazioni per l'omissione di quanto prescritto negli artt. 1 e 3 del testo;
- il D.M. 14 gennaio 2008 recante le nuove *Norme Tecniche per le Costruzioni*;
- il D.M. 11.03.1988 (Zona 4 sismica);

CONSIDERATO CHE

- la relazione geologica e quella geotecnica rappresentano due distinti elaborati che sono parte integrante del progetto;
- la realizzazione di qualunque intervento di ingegneria civile e/o di pianificazione territoriale prevede la realizzazione di uno studio specialistico (geologico e geotecnico) e la produzione di una relazione geologica e di una geotecnica corredate da carte tematiche, tavole, diagrammi, ecc.;
- la redazione di entrambe le relazioni deve essere supportata dall'analisi di dati/elaborazioni desunti da approfonditi studi bibliografici e da indagini e prove adeguate all'importanza dell'opera da realizzare ed alla complessità del contesto naturale, nonché ai livelli di pericolosità geologica esistenti;
- la descrizione dei criteri per la redazione della relazione geotecnica è proposta in altro documento, analogo al presente;
- il "modesto rilievo" delle costruzioni è da intendersi esclusivamente in termini di conseguenze sulla stabilità dell'insieme opera-terreno e mai in termini dimensionali;

APPROVA

i seguenti *standard* di lavoro, da utilizzare come riferimento metodologico per gli studi specialistici e per la redazione della relazione geologica, nonché per la definizione dei criteri per la programmazione delle indagini di supporto all'esecuzione degli studi in questione.

2 - Progetto Qualità

L'approvazione degli standard avvia, di fatto, il "Progetto Qualità", coerentemente con il processo di Aggiornamento Professionale Continuo già in essere, nell'ambito del quale il CNG e gli Ordini regionali vigilano sul rispetto delle corrette procedure metodologiche, anche attraverso Commissioni Tecniche e consultive appositamente formate.

I professionisti che aderiranno a detto Progetto Qualità ed assumeranno l'impegno di lavorare secondo gli standard, potranno inserire all'interno degli elaborati di propria competenza uno specifico logo che renderà riconoscibile l'adozione degli standard e garantirà il Committente circa la conformità della procedura tecnica utilizzata agli standard stessi.

La certificazione di qualità del Professionista sarà attestata dall'Ordine di appartenenza quale parte terza nel rapporto Committente/Professionista.

Le modalità di adesione e certificazione del Progetto Qualità, se condivise da tutti gli Ordini regionali costituiranno oggetto di specifica commissione istituita dal Consiglio Nazionale.

Divulgazione

Il CNG e gli Ordini regionali provvederanno alla divulgazione del Progetto Qualità e dei presenti *standard* attraverso i canali di comunicazione che riterranno più opportuni, comprese le pagine web. Gli stessi potranno pubblicare gli elenchi degli iscritti certificati e distribuirlo presso gli Enti/Committenti che ne facciano richiesta.

Aggiornamento

Annualmente (entro il 31 gennaio di ogni anno) il CNG, sentiti gli Ordini regionali, provvederà alla pubblicazione degli eventuali aggiornamenti agli standard sulla base delle osservazioni pervenute da parte delle pubbliche amministrazioni, degli Ordini, degli iscritti all'Albo e dei Committenti, nel rispetto della normativa vigente in quel momento.

Gli standard metodologici proposti affrontano le principali tipologie di lavoro; le tipologie di lavoro non previste nella presente revisione degli standard potranno essere affrontate con metodologie assimilabili ed eventualmente inserite nella successiva revisione annuale.

3 - Parte Prima

Modalità di approccio

Gli studi geologici a corredo della progettazione delle opere di ingegneria civile e/o della predisposizione di strumenti di gestione/pianificazione del territorio sono, in generale, molto articolati e raramente assumono caratteristiche tali da poter essere inquadrati in una univoca metodica di riferimento.

Nell'ambito del Progetto Qualità, pertanto, vengono proposti due possibili approcci: uno più generale, che inquadra lo studio specialistico definendo gli ambiti di approfondimento minimali ed uno di dettaglio, che inquadra lo specifico problema cui il geologo è chiamato ad esprimersi, all'interno di uno schema di contenuti minimi che egli stesso deve produrre.

La scelta dell'una o dell'altra modalità di approccio è funzione della tipologia di prestazione richiesta al professionista e della possibilità di schematizzare il processo.

3.1 - Approccio metodologico generale

Lo schema che si propone rappresenta, di fatto, l'indice della relazione di accompagnamento allo studio specialistico (consulenza geologica in senso lato). L'indice può essere semplificato nel caso in cui il professionista non abbia a disposizione dati specifici e/o l'incarico affidato dal Committente non preveda l'approfondimento di tutti gli aspetti di seguito commentati, premettendo una bozza di disciplinare-tipo per prestazioni geologiche.

3.1.1 - *Bozza disciplinare-tipo per prestazioni geologiche*

3.1.2 - *Premessa ed obiettivi del lavoro*

3.1.3 - *Inquadramento geografico*

3.1.4 - *Inquadramento geologico regionale*

3.1.5 - *Caratterizzazione del volume geologico significativo*

- Litostratigrafia
- Assetto geologico strutturale
- Geomorfologia
- Climatologia, Idrologia, Idrogeologia

3.1.6 - *Approfondimenti, programmazione delle indagini e loro esito*

- Rilievi di campo
- Analisi foto interpretativa
- Campagna di indagini geognostiche
  - Progetto di campagna
  - Esiti delle indagini

3.1.7 - *Terre e rocce da scavo*

3.1.8 - *Analisi delle pericolosità geologiche*

3.1.9 - *Elementi di criticità*

3.1.10 - *Attendibilità del modello geologico e fattibilità dell'intervento*

3.1.11 - *Riferimenti bibliografici*

3.1.12 - *Allegati cartografici*

3.1.1 - Bozza disciplinare-tipo per prestazioni geologiche

L'Amministrazione di ...,

visto il D.Lgs. 163/2006;

vista la necessità di procedere ad assegnazione di incarico per prestazioni geologiche nell'ambito del progetto per la realizzazione di....

Visti i contenuti della prestazione geologica, riportati nell'allegato X del citato Decreto legislativo 163/2006;

Visti gli standard di lavoro approvati dal Consiglio Nazionale dei Geologi con delibera n. ... e le procedure di certificazione del progetto qualità;
Visto che il lavoro oggetto del presente incarico si configura nello standard di riferimento n. x
Visto il calcolo dell'onorario, valutato preventivamente dall'Amministrazione con riferimento al D.M. 18.11.1971 e s.m.i. nonché al D.M. 04.04.2001, nella somma di euro....., al netto degli oneri previdenziali e l'IVA;

Con delibera n. ... ovvero determinazione dirigenziale n. ..., assegna incarico per le prestazioni geologiche del progetto allo Studio o Società professionale nella persona del dott. geol. ....., con sede in ..., via ..., avente codice fiscale ..., iscritto all'Albo Professionale dell'Ordine dei Geologi della Regione ... iscritto all'EPAP con il n. ...

Art. 1) Oggetto dell'incarico: L'Amm.ne affida incarico per l'effettuazione degli studi geologici finalizzati a.... i cui contenuti sono riportati nel citato Standard di riferimento n.
ovvero facenti parte della progettazione (preliminare, definitiva, esecutiva)
ovvero il supporto geologico alla direzione dei lavori (direzione lavori geologica) dell'opera.....;

Art. 2) Definizione delle attività: la prestazione geologica connessa alle attività progettuali sarà così articolata:

a) analisi della documentazione esistente e verifica delle informazioni di supporto dalle banche dati disponibili;
b) esecuzione dei rilievi geologici e geomorfologici di base e applicativi in funzione della specifica fase di progetto;
c) progettazione del piano delle indagini, in stretta collaborazione con il progettista generale e/o delle strutture; tale progetto sarà costituito da una planimetria con ubicazione delle indagini nonché relazione descrittiva con tipologia e caratteristiche tecniche delle indagini prescelte;
d) redazione del computo metrico estimativo delle indagini necessarie e del capitolato prestazionale, in ottemperanza al D.M. 14/01/2008;.
e) redazione della documentazione necessaria per l'appalto delle indagini, incluso cronoprogramma ed eventuali specifici piani di sicurezza;
f) direzione delle attività d'indagine, compresa la verifica e validazione dei Piani Operativi di Sicurezza (POS) delle Imprese esecutrici, con effettuazione dei necessari sopralluoghi di cantiere; inclusa redazione delle specifiche delle prove di laboratorio e del controllo dei requisiti del laboratorio ai sensi del D.M. 14/01/2008;
g) validazione dei documenti e certificati d'indagine redatti dall'Impresa esecutrice, certificazione di regolare esecuzione e liquidazione dei lavori d'indagine;
h) redazione degli elaborati di cui allo standard di riferimento n. ... e costituiti da:

-
-
-
-

conformi allegato X del D.Lgs 163/2006 e s.m.i.

Art. 3) Tempistiche dell'incarico: le attività indicate verranno svolte secondo il seguente cronoprogramma:

Art. 4) Penali: laddove il Professionista non rispetti le tempistiche di cui al precendente art. 3 verrà applicata una penale pari a € per ogni giorno di ritardo;

Art. 5) Assicurazioni: il Professionista dovrà fornire copia della polizza di RC professionale per un massimale pari a € , nonché polizza per la copertura degli eventuali costi di riprogettazione dell'opera, in fase di progettazione esecutiva, per la quota parte spettantegli, in conformità all'art. del D. Lgs. 163/2006;

Art. 6) Onorari professionali: le prestazioni in oggetto, valutate preventivamente dall'Amministrazione con riferimento al D.M. 18.11.1971 e s.m.i. nonché al D.M. 04.04.2001, nella somma di euro ....., in aggiunta degli oneri previdenziali e dell'IVA, sulle quali, a seguito delle procedure di selezione, il professionista ha offerto un ribasso percentuale pari al x% in aggiunta delle spese pari a ...; valutato che tale offerta è rispondente alle prestazioni richieste, in particolare rispetta le necessarie garanzie di qualità,
l'incarico assomma pertanto a euro ... così specificati:

Art. 7) Pagamenti: le prestazioni indicate verranno corrisposte con i seguenti acconti, previa emissione di avviso di parcella o fattura. La liquidazione dell'onorario avverrà previa consegna del certificato di regolarità contributiva emesso dall'E.P.A.P.

3.1.2. Premessa ed obiettivi del lavoro

Nella premessa verrà indicato il Committente e l'esatta denominazione del progetto/piano; inoltre verrà descritta la natura dell'incarico conferito, la fase progettuale in esame (Studio di fattibilità, Progetto preliminare, definitivo, esecutivo), le caratteristiche essenziali dell'intervento di progetto e/o del piano.
Si procederà, poi, alla descrizione della documentazione fornita dal Committente e dal Progettista, indicando il tipo di documento, la relativa codifica, una rapida descrizione del contenuto, l'estensore, la data e il numero di revisione. Dopo aver definito gli obiettivi dell'incarico affidato dal Committente si passerà alla descrizione schematica delle fasi di lavoro, oltre ad indicare il/i nominativo/i di eventuali collaboratori e la loro funzione nell'ambito dello studio specialistico, ferma restando la responsabilità intellettuale e civile del firmatario degli elaborati.
Schema convenzione-incarico

3.1.3. Inquadramento geografico

La localizzazione geografica dell'area di studio dovrà consentire l'individuazione del settore di territorio oggetto di approfondimenti con riferimento ai limiti amministrativi di riferimento ed a quelli naturali.
La localizzazione dovrà essere realizzata su cartografia ufficiale IGMI di piccola scala (1:50.000 o inferiore) mentre l'ubicazione dovrà essere prodotta su base topografica in scala di dettaglio (1:5.000 o superiore) con esatta indicazione del Foglio IGMI, della Tavoletta IGMI, della Sezione CTR e/o dell'Elemento CTR. Sulla carta di ubicazione dell'intervento dovrà essere anche rappresentata la sagoma dell'opera (o le ipotesi di zonazione previste dal piano) con indicazione delle coordinate geografiche espresse nel sistema di riferimento WGS84 (Datum WGS84) dei vertici della sagoma e/o del baricentro dell'opera. Si raccomanda di descrivere sinteticamente in questo capitolo il quadro dei vincoli ambientali e paesistici esistenti.

3.1.4. Inquadramento geologico regionale

In questa parte si descrivono i lineamenti geologici dell'area di studio inquadrandola in un più ampio scenario di riferimento. Vengono descritti i lineamenti geologici regionali e quelli di una vasta area all'interno della quale si cala l'intervento, facendo riferimento ai dati bibliografici disponibili e al modello

geologico regionale più accreditato (con indicazione del riferimento bibliografico). In questa fase si descriveranno gli elementi lito e crono-stratigrafici nonché l'assetto strutturale, dovendosi individuare le principali unità geologiche, i loro rapporti stratigrafici e tettonici evidenziandone la storia geologica (configurazione del "modello geologico locale"). Il modello geologico locale descriverà le relazioni tra le differenti unità litostratigrafiche ed il carattere dei rapporti che le legano (stratigrafico, tettonico, ecc.). Il dettaglio dello studio sarà commisurato all'estensione dell'opera/piano ed alla interazione che questa potrà determinare con il modello geologico locale. In allegato al documento (relazione) verrà riportato un estratto della cartografia geologica ufficiale più recente e di studi/ricerche universitarie o di elaborati specialistici contenuti in studi a corredo di strumenti di pianificazione a scala di bacino o locale. Il professionista fornirà, inoltre, uno stralcio geologico originale da lui elaborato, rappresentato in scala commisurata all'importanza dell'opera, motivando eventuali sostanziali difformità dagli strumenti cartografici riportati in allegato. Ai fini della costruzione del modello geologico la cartografia deve essere sempre corredata da un numero di sezioni geologiche in scala e numero adeguati ad una corretta rappresentazione delle condizioni della zona studiata. Carte e sezioni debbono essere congruenti stratigraficamente oltre che geometricamente.

3.1.5. Caratterizzazione del volume geologico significativo

In relazione con l'importanza e con l'estensione dell'opera/piano di progetto, il professionista definirà l'areale e la relativa porzione di sottosuolo da investigare mediante indagini geognostiche dirette e/o indirette ed analisi di pericolosità, secondo i criteri che saranno di seguito esposti. Il "sito geologico", ancorché influenzato dall'impronta dell'opera di progetto, non coincide generalmente con l'area di interesse progettuale e la sua estensione è sempre esuberante rispetto all'ambito di interesse.
Il volume geologico significativo comprende il sito geologico *e il relativo sottosuolo, in cui è possibile cogliere interrelazioni di carattere dinamico di origine geologica o antropica influenzanti l'opera.* Si tratta di una porzione, più o meno estesa, di territorio con il suo sottosuolo per profondità, generalmente inferiori a 100 m, ma talora anche maggiori; il volume geologico è, pertanto, molto più esteso rispetto a quello geotecnico, unicamente determinato dalle caratteristiche dimensionali dell'opera.
La ricostruzione schematica del modello geologico comporta sostanzialmente l'identificazione di un volume roccioso nel cui ambito è definibile una successione litostratigrafica in funzione della tipologia e del numero di litotipi, delle litofacies, dei caratteri mineralogici e tessiturali, dei rapporti stratigrafici tra gli stessi, delle giaciture delle strutture, dell'assenza o presenza di discontinuità strutturali, dell'assenza o presenza di fluidi nel suo ambito, dei parametri che caratterizzano l'andamento e la circolazione di tali fluidi.
Operativamente, si dovrà valutare l'estensione di territorio entro il quale possano determinarsi fenomeni geodinamici, idrogeologici e antropici in grado di provocare o subire azioni dirette o indirette sulle/dalle opere o su/da parti delle stesse.
Le azioni sull'opera e le conseguenze che l'opera a sua volta induce sull'ambiente, in analogia ai criteri generali dell'Eurocodice 7, possono ricondursi a:

- pericolosità sismica e relativi effetti cosismici;
- pericolosità vulcanica (propagazione di colate, nubi ardenti, caduta di lapilli e polveri, ecc.);
- movimenti franosi, anche quiescenti o relitti, eventualmente riattivabili per le modifiche indotte dall'intervento di progetto;
- impatti e seppellimenti in zone di espansione di colate rapide;
- impatti e seppellimenti in zone soggette a caduta o rotolamento massi;
- impatti e seppellimenti in zone di espansione di valanghe;
- movimenti lenti riconducibili a fenomeni di *creep,* di degradazione superficiale, di alterazione dei terreni;
- azioni indotte da tensioni nel sottosuolo di natura geostatica o tettonica o detensionamenti riconducibili a scavi estesi, presenza di elevate tensioni residue negli ammassi rocciosi associate a fenomeni di plasticizzazione;

- deformazioni legate ad ammassi rocciosi con disomogeneità tessiturali verticali e laterali;
- cedimenti o collassi legati alla presenza di ammassi rocciosi solubili, di cavità carsiche con bassa copertura in formazioni calcaree o gessose;
- effetti legati ad attività estrattive in superficie o in sotterraneo, a cavità nel sottosuolo, a fonti di vibrazione;
- subsidenze riconducibili a fenomeni naturali o antropici;
- pressioni di tipo interstiziale riconducibili a falde libere o confinate, forze di filtrazione, abbassamento o innalzamento del livello di falda;
- cedimenti legati a zone di ristagno, torbose e paludose, nonché alla presenza di terreni ad alta compressibilità, espansivi, ecc.;
- azioni erosive di acque superficiali o sotterranee;
- spinte di tipo idrostatico di acque sotterranee o superficiali in quiete o in movimento;
- condizioni idrogeologiche che comportino rischi di sifonamento, galleggiamento o inondazione repentina dell'opera;
- infiltrazioni di acque superficiali nel sottosuolo, con possibile conseguente rischio di veicolazione di sostanze inquinanti;
- interventi che modifichino l'idrogeologia in zone di rispetto di captazioni ad uso idropotabile e/o in zone ad elevata vulnerabilità degli acquiferi sfruttati ad uso idropotabile;
- interventi in zone con presenza di centri di pericolo ambientale (discariche, siti da bonificare, industrie a rischio, infrastrutture, cisterne, serbatoi, stoccaggio rifiuti, ecc.).

Litostratigrafia

Nell'ambito del volume geologico significativo il professionista procederà ad una dettagliata descrizione dei terreni e delle rocce basata sugli esiti del rilevamento di campagna. In tal senso si utilizzeranno le norme UNI EN ISO 14688 e UNI EN ISO 14689. Procederà, dunque, alla definizione delle diverse unità *s.l.* individuabili nell'area, cartografandole a scala commisurata alla portata areale dell'intervento. Inoltre provvederà ad un'accurata descrizione ed alla mappatura dei depositi quaternari presenti nell'area di studio.
Per le opere e i lavori a rete si potranno evidenziare le caratteristiche litostratigrafiche del suolo e del sottosuolo mediante profili geologici longitudinali e trasversali in numero sufficiente per illustrare gli aspetti geologici salienti dell'area.
Le correlazioni e le estrapolazioni delle unità litostratigrafiche saranno operate mediante modelli sedimentari noti in letteratura.

Assetto geologico-strutturale

In questo capitolo vengono descritti i rapporti tra corpi geologici generati dall'attività tettonica (faglie, pieghe e ricoprimenti) nonché le relazioni geometriche e di estensione fra gli stessi, quali le variazioni verticali e laterali evidenziate dall'analisi stratigrafica e dalla distribuzione delle facies.
In particolare si dovranno evidenziare:

- le condizioni giaciturali;
- la presenza di intercalazioni fra strati tenaci e deboli;
- la presenza di faglie ed una valutazione dello stato di attività delle stesse;
- la distribuzione spaziale dei giunti e delle fratture anche con l'ausilio di stereogrammi polari;
- la distribuzione delle superfici di debolezza meccanica e delle zone cataclastiche;
- la distribuzione delle tensioni nel sottosuolo e nelle discontinuità.

Geomorfologia

Sulla base di un'approfondita ricerca bibliografica, seguita da analisi foto interpretative e da un attento rilievo geomorfologico di campagna, il professionista descriverà i processi geomorfologici rilevanti che hanno caratterizzato il settore di territorio in cui ricade l'area di interesse e quelli che, a suo avviso, possono evolvere in tempi confrontabili con quelli di vita nominale dell'opera.
Nell'analisi il professionista evidenzierà anche tutti gli assetti morfologici e morfostrutturali che possono preludere a fenomenologie cosismiche riferendosi ai livelli di affinamento indicati nelle allegate procedure di analisi di pericolosità sismica.
Particolare attenzione dovrà essere dedicata all'analisi dei fattori di pericolosità geomorfologica e alla sua stima (bassa, moderata, elevata, estremamente elevata). La pericolosità geomorfologica sarà definita per tipologia di processo (frana, esondazione, erosione costiera, ecc.).
Al fine di verificare la congruenza delle proprie valutazioni, il professionista descriverà i contenuti degli strumenti normativi a scala di bacino (PAI) adottati (o in corso di adozione), l'inventario nazionale delle frane I.F.F.I., riportando stralci cartografici dell'area di interesse. L'eventuale presenza di areali ad elevata pericolosità o di scenari di rischio già conclamati nell'area di interesse o in prossimità di essa, determineranno un approfondimento specifico da parte del professionista che interagirà direttamente, in nome e per conto del Committente, con la Segreteria Tecnico Operativa dell'Autorità di Bacino competente per territorio.
Sulla scorta delle stime di pericolosità prodotte si individuano gli elementi di criticità geomorfologica meritevoli di azioni progettuali (atte a ridurre il livello di pericolosità specifico o a ridurre il livello di vulnerabilità dell'opera) finalizzate alla riduzione del rischio.

Climatologia, Idrologia, Idrogeologia

I contenuti di questo capitolo della relazione geologica si svilupperanno con l'obiettivo di definire le condizioni climatiche del sito ed in particolare il regime pluviometrico medio, la frequenza delle precipitazioni intense, di diversa durata, con tempi di ritorno di 10, 50, 100 e 200 anni sulla base delle serie di dati reperibili. Si dovranno inoltre indicare le modalità di deflusso, con particolare riguardo al reticolo idrografico superficiale ed al suo grado di gerarchizzazione. Si dovrà indicare il corpo idrico recettore, il settore di bacino impegnato dall'opera a progetto e le eventuali interferenze e modificazioni indotte nel naturale deflusso delle acque. Si fornirà una valutazione del bilancio idrologico, dettagliato e approfondito in relazione agli obiettivi del lavoro.
Dovranno quindi descriversi le condizioni di permeabilità delle formazioni geologiche, nell'ambito del volume geologico significativo, e in particolare quelle che possono contenere corpi idrici sotterranei quali:

- mezzi permeabili per porosità primaria;
- mezzi permeabili per porosità secondaria (fessurazione);
- mezzi permeabili per porosità secondaria (carsismo o dissoluzione);
- mezzi permeabili per porosità mista.

Dovrà essere fornita la descrizione del tipo degli acquiferi, degli acquicludi e degli acquitardi.
I corpi idrici sotterranei potranno essere classificati come corpi idrici suddivisi in:

1. falde freatiche (o libere) superficiali (soggiacenza media < 10 m);
2. falde freatiche(o libere) profonde (soggiacenza media > 10 m);
3. falde confinate(o in pressione) (con specificazione dell'eventuale grado di artesianesimo);
4. falde semiconfinate;
5. falde minori (sospese, temporanee, etc.);
6. falde multitipofalde sovrapposte.

Degli acquiferi sarà fornita un'accurata descrizione litologica e dello stato fessurativo allo scopo, se necessario, di definire unità idrogeologiche omogenee.

Il quadro idrogeologico dovrà essere completato dalla misura e dalla elaborazione dei livelli piezometrici, da una stima delle pressioni interstiziali, in relazione con gli interventi di progetto, nonché da una definizione del grado di protezione degli acquiferi e della loro vulnerabilità in relazione agli interventi previsti dal progetto.
Qualora il progetto interferisca in maniera rilevante con le acque sotterranee si dovranno eseguire specifiche indagini e prove idrogeologiche, che saranno opportunamente commentate. Gli esiti delle indagini e delle prove saranno corredati da cartografia idrogeologica, con indicazione delle linee equipotenziali (o isopiezometriche), realizzata ad una scala utile a descrivere il tematismo in relazione con le caratteristiche dell'opera/piano, e da modelli di flusso e di trasporto della eventuale propagazione di contaminazioni.
A questo scopo dovranno essere definite le condizioni al contorno che definiscono il corpo idrico sotterraneo (corpi idrici superficiali, condizioni di flusso nullo, etc.).
Nella discussione finale delle problematiche rilevate si dovrà valutare l'eventuale impatto sulla qualità dei corpi idrici sotterranei connessa a:

- dispersione in superficie di liquami chiarificati (in assenza di reti fognarie) o non chiarificati;
- scambio termico in sistemi geotermici a bassa entalpia;
- immissione in falda di acque a temperatura diversa da quella originale, compresa la reiniezione di fluidi provenienti da sistemi geotermici a media e alta temperatura;
- ricarica delle falde con acque di depurazione o con altri sistemi;
- prelievi in acquiferi costieri, con definizione dell'andamento del cuneo salino;
- ogni altra perturbazione del sistema acquifero interessato dalle opere di progetto.

3.1.6. Approfondimenti, programmazione delle indagini e loro esito

Rilievi di campo

In questo paragrafo saranno illustrati gli esiti dei rilievi di campo finalizzati alla ricostruzione del volume geologico significativo. Si descriveranno le stazioni di affioramento e si documenteranno fotograficamente le evidenze di campo utili ai fini della configurazione dello scenario locale.

Analisi fotointerpretativa

In questo paragrafo saranno illustrati gli esiti delle analisi fotointerpretative, anche multi-temporali, condotte nell'ambito dello studio specialistico. Saranno riportati, inoltre, i *data strip* delle immagini utilizzate, il titolare delle immagini e l'epoca di volo.

Campagna di indagini geognostiche

In questo paragrafo verranno illustrati la programmazione, la sequenza temporale, la/le Ditta/Ditte esecutrice/i ed eventuali variazioni intervenute nel corso dell'esecuzione delle stesse. Inoltre saranno descritti gli esiti delle indagini in relazione con il modello geologico configurato e con le ipotesi d'intervento.
Le modalità esecutive delle indagini e delle prove, saranno contenute in un apposito elaborato, allegato alla relazione geologica, in analogia con il Ground Investigation Report dell'EC-7. Il professionista incaricato della direzione dei lavori di indagine geognostica, validerà la conformità del prodotto reso con il Progetto di campagna indagini da lui redatto, emettendo certificato di regolare esecuzione con funzioni anche amministrative.
La campagna di indagini geognostiche realizzata nell'ambito dello studio specialistico geologico può avere finalità differenti da quella progettata nell'ambito della progettazione geotecnica in quanto temporalmente antecedente. Al fine di ridurre i costi d'indagine e rendere sinergica l'azione dei professionisti impegnati nel progetto la campagna di indagini potrà essere unica e condivisa dall'/dagli estensore/i degli studi specialistici geologici e geotecnici.

3.1.7. Terre e rocce da scavo

Gli aspetti connessi all'analisi geologica dei materiali di scavo sono riportati nell'allegato specifico.

3.1.8. Analisi delle pericolosità geologiche

Il professionista descriverà le pericolosità di base del sito, facendo riferimento alla nuova classificazione sismica del territorio nazionale, recepita a livello locale dalle amministrazioni regionali, nonché alle carte di pericolosità sismica e agli studi di M.S. eseguiti in ambito regionale o comunale, agli strumenti di pianificazione di bacino disponibili (P.A.I. o Piani stralcio tematici), ai Piani Urbanistici corredati di studi geologici. L'analisi delle pericolosità sarà effettuata sulla base di apposite procedure riassunte nello specifico allegato e così suddivise:

Pericolosità sismica
Microzonazione sismica
Pericolosità per crollo e rotolamento massi
Pericolosità per colate
Pericolosità su conoide
Pericolosità per fenomeni di scivolamento
Pericolosità per fenomeni valanghivi
Pericolosità vulcanica

In allegato sono inoltre riportate le linee guida NTC 08 elaborate dal Gruppo interregionale degli Ordini regionali.

3.1.9. Elementi di criticità

Nel capitolo in questione saranno descritti gli elementi di criticità emersi nel corso dello studio distinguendoli per tipologia (criticità litologica, geomorfologica, idrogeologica, ambientale, antropica, ecc.).
Conseguentemente verranno descritte tutte le tecniche di mitigazione che potranno avere carattere cautelativo o prescrittivo in relazione con la loro importanza.
In accordo con il Progettista si definiranno, infine, eventuali successive fasi di approfondimento (anche in corso d'opera) nonché la tipologia e la durata nel tempo delle campagne di monitoraggio connesse con la costruzione e l'esercizio dell'opera.

3.1.10. Attendibilità del modello geologico e fattibilità dell'intervento

In relazione con la qualità e la quantità delle informazioni reperite, delle indagini eseguite e con la complessità geologico-strutturale dell'area di studio, il Professionista provvederà a qualificare il modello geologico di riferimento attraverso una scala di attendibilità a cinque valori (1=scarso; 2=mediocre; 3=sufficiente; 4=buono; 5=ottimo). Appare opportuno evidenziare che l'affidabilità di un modello geologico è un parametro indicativo di quanto lo stesso descriva una determinata realtà naturale e non, evidentemente, il contrario. La descrizione grafica del modello deve spingersi ad una sua rappresentazione nello spazio attraverso carte geologiche corredate di un numero adeguato di sezioni oppure, ove siano disponibili molte informazioni, da modelli tridimensionali. È opportuno ribadire che carte e sezioni devono essere congruenti sotto il profilo geometrico e stratimetrico.
Nel capitolo conclusivo verrà espresso anche un giudizio sulla compatibilità dell'opera/piano con il contesto naturale ospitante. Vengono richiamati, pertanto, gli elementi di pericolosità naturale presenti nell'area di progetto ed enumerati gli elementi di criticità distinti per tipologia (criticità litologica,

geomorfologica, idrogeologica, ambientale, antropica, ecc.).
La sintesi dovrà contenere indicazioni circa il livello di vulnerabilità ammissibile per l'opera a seconda della classe d'uso e in relazione con il contesto naturale descritto e con la vita nominale dell'opera stessa. Conseguentemente verranno descritte tutte le tecniche di mitigazione che potranno avere carattere cautelativo o prescrittivo in relazione con la loro importanza.
In accordo con il Progettista si dovranno definire, infine, eventuali successive fasi di approfondimento (anche in corso d'opera) nonché la tipologia e la durata nel tempo delle campagne di monitoraggio connesse con la costruzione e l'esercizio dell'opera.

3.1.11. Riferimenti bibliografici

Dovranno indicarsi con rigore tutte le fonti di dati utilizzati per la redazione della relazione, comprensive del nome dell'Autore e dell'anno di pubblicazione/realizzazione. Inoltre dovranno essere indicate le leggi, gli strumenti pianificatori, la cartografia e quant'altro consultato in fase di redazione degli elaborati.

3.1.12. Allegati cartografici

Le tavole di analisi e sintesi dovranno essere rappresentate utilizzando, ove possibile, le legende e le simbologie proposte dal Gruppo Nazionale Geografia Fisica e Geomorfologia (1994) riportati in appendice.

3.2. Approccio metodologico analitico

In funzione della tipologia di prestazione richiesta al professionista è possibile procedere secondo schemi predefiniti che consentono la produzione di contenuti minimi.
Gli schemi che si propongono sono relativi a 26 tipologie di opere e presentano le specificità richieste dalle norme per quella tipologia di intervento.
Si evidenzia che l'applicazione delle procedure semplificate connesse alla realizzazione di opere "a bassa incidenza sotto il criterio puramente dimensionale" deve essere preventivamente verificata con la pericolosità geologica di base che, laddove non trascurabile, presuppone l'esecuzione di studi specialistici di analisi di pericolosità e rischio come descritto nell'approccio generale.
Le tipologie di lavoro, ed i relativi standard di riferimento, vengono di seguito elencati.

Standard 1	**Opere di sistemazione e completamento di fabbricati esistenti: adeguamento igienico-funzionale, sopraelevazione, strutture di recinzione di aree di pertinenza, ecc.**
Standard 2	**Costruzione di un edificio di modesto impegno costruttivo (minime pericolosità naturali)**
Standard 3	**Costruzione di un edificio di notevole impegno costruttivo (massime pericolosità naturali)**
Standard 4	**Progettazione stradale e ferroviaria**
Standard 5	**Progettazione di reti di distribuzione (fognarie, idriche, metanodotti, ecc.)**
Standard 6	**Interventi di stabilizzazione di aree in frana e/o di consolidamento di versanti**
Standard 7	**Indagini geologiche preordinate alla redazione di uno strumento urbanistico**
Standard 8	**Studio geologico nell'ambito di un piano attuativo**
Standard 9	**Studio geologico riguardante la localizzazione e la realizzazione di una discarica**
Standard 10	**Studio geologico riguardante la caratterizzazione di un sito inquinato**
Standard 11	**Studio idrogeologico per il prelievo e l'utilizzo di acque sotterranee**
Standard 12	**Studio idrogeologico per la delimitazione delle Aree di Salvaguardia di Risorse Idriche ad Uso Potabile**
Standard 13	**Studio geologico nell'ambito del progetto per attività estrattiva o per l'ampliamento di un sito già adibito ad attività estrattiva**

Standard 14 Studio componente suolo-sottosuolo e ambiente idrico in procedure SIA, VIA, VAS e Valutazioni di Incidenza
Standard 15 Studio idrologico ed idrogeologico per realizzazione laghetti collinari
Standard 16 Studi in area urbana
Standard 17 Individuazione cavità sotterranee di origine antropica
Standard 18 Studi geologici nell'ambito della progettazione di aree cimiteriali
Standard 19 Studi geologici per concessioni di derivazione di acqua pubblica (sotterranea)
Standard 20 Studi geologici per concessioni di derivazione di acqua pubblica (superficiale)
Standard 21 Studi idrogeologici per la realizzazione di impianti di smaltimento reflui domestici

3.2.1. STANDARD 1

Opere di sistemazione e completamento di fabbricati esistenti: adeguamento igienico-funzionale, sopraelevazione, strutture di recinzione di aree di pertinenza, ecc.

Normativa di riferimento (nazionale)

D.P.R. 380/01
D.M. 11.03.1988 (Zona 4 sismica)
L. 18.05.1989 N. 183
D.M. LL.PP. 14.02.1997
D.L. 11.01.1998 N. 180
D.M. II.TT. 14.01.2008
D.M. II.TT. 04.02.2008

Normativa di riferimento (regionale)

DA INSERIRE A CURA DI CIASCUN O.R.

Procedura operativa

1. Localizzazione dell'area di intervento su base cartografica 1:5.000 (Carta Tecnica Regionale) con indicazione del numero di elemento (il numero è composto da 6 cifre di cui le prime tre sono relative al Foglio IGMI in scala 1:50.000).
2. Cartografia dei vincoli esistenti (idrogeologico, da Piano Straordinario o Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, da strumento urbanistico) o in *iter* di adozione nonché degli studi a carattere territoriale esistenti su base topografica C.T.R. in scala 1:5.000.
3. Rilevamento geolitologico e/o geomorfologico sull'area in esame e redazione della relativa carta in scala minima 1:5.000.
4. Redazione della carta di ubicazione delle indagini pre-esistenti, e/o realizzate in fase di studio, e/o dei fronti di scavo significativi in scala minima 1:5.000.
5. Esecuzione di almeno un saggio geognostico mediante escavatore meccanico spinto fino alla profondità di almeno 3 m dal p.c. o analisi di un fronte di scavo artificiale o di una scarpata naturale (documentato in foto e ubicato in carta). Il saggio o il fronte di scavo/scarpata dovranno essere situati a ridosso dell'area di impronta dell'intervento e dovranno consentire la ricostruzione litostratigrafica del sottosuolo direttamente interessato dall'intervento.
6. Repertorio fotografico relativo alla zona di progetto ed alla indagine eseguita con evidenziata (a mezzo di fettuccia metrica o metro estensibile) la profondità raggiunta dallo scavo o l'altezza del fronte di scavo/scarpata.
7. Ricostruzione dello schema geolitologico del sottosuolo riportante le unità individuate e i relativi spessori (attraverso uno schema tridimensionale o più sezioni bidimensionali).
8. Redazione della relazione di sintesi in cui vengano descritti: lo scenario geologico di riferimento e l'assetto geometrico del sottosuolo; lo scenario geomorfologico e gli eventuali fenomeni evolutivi; le caratteristiche litologiche dei terreni affioranti e sub-affioranti; lo schema di circolazione idrica sotterranea con riferimento alle caratteristiche di permeabilità dei diversi litotipi, compresa l'individuazione (anche cartografica) di pozzi e/o sorgenti; i livelli di pericolosità riscontrati ed gli elementi di criticità ad essi connessi in relazione con la tipologia di intervento previsto; le ipotesi di intervento per la mitigazione delle criticità emerse; eventuali prescrizioni progettuali; le caratteristiche sismiche del sito (in relazione con gli studi sismogenetici condotti e/o con studi originali); il valore

dell'accelerazione di progetto con riferimento alle NTC 2008; gli esiti di eventuali studi di Microzonazione Sismica; gli esiti degli studi propedeutici alla redazione dei Piani Stralcio per l'Assetto Idrogeologico e di quanto altro prodotto da Enti o strutture pubbliche per la definizione dei livelli di pericolosità locali. In relazione con la complessità geologica dell'area, della qualità e della quantità di indagini pre-esistenti disponibili, il Professionista esprimerà un giudizio di attendibilità del modello geologico ricostruito, al fine di consentire all'estensore dello studio geotecnico, di predisporre ulteriori approfondimenti. L'attendibilità viene espressa attraverso un indice cui corrispondono i seguenti livelli: 1 = scarso; 2 = mediocre; 3 = sufficiente; 4 = buono; 5 = ottimo.

Indicazioni sulle indagini geognostiche da eseguire per la redazione della relazione geotecnica secondo litologia interessata e complessità geologica del sito.

(La tipologia ed il numero delle indagini da effettuare rimangono a discrezione del professionista in riferimento ai dati in suo possesso relativi ad altri lavori svolti nell'area; in ogni caso dette indagini devono fare riferimento alle indicazioni dettate dalle normative vigenti)

Roccia	Depositi ghiaiosi cementati e/o molto addensati, argilliti	Roccia molto alterata, coperture detritiche, depositi sabbiosi e/o limosi, argillosi compatti	Depositi sabbiosi addensati; limosi ed argillosi da consistenti a mediamente consistenti	Depositi sabbiosi poco addensati, limosi ed argillosi da mediamente consistenti a scarsamente consistenti	Depositi di colmata, limi e sabbie sciolte, argille organiche, torbe, corpi di frana
• Rilievi geomeccanici e su affioramenti rappresentativi del substrato litoide e valutazione dell'indice RMR (e/o altri Q, GSI, ecc.), misure sclerometriche e di scabrezza lungo le pareti delle discontinuità • Prove geotecniche di laboratorio per la valutazione della resistenza a compressione	• Pozzetti esplorativi, trincee	• Pozzetti esplorativi, trincee • Prove penetrometriche dinamiche	• Pozzetti esplorativi, trincee • Prove penetrometriche dinamiche	• Pozzetti esplorativi, trincee • Prove penetrometriche statiche • Prove penetrometriche dinamiche	• Pozzetti esplorativi, trincee • Prove penetrometriche statiche • Prove penetrometriche dinamiche

3.2.2. STANDARD 2

Costruzione di un edificio di modesto impegno costruttivo

Normativa di riferimento (nazionale)

D.P.R. 380/01
D.M. 11.03.1988 (Zona 4 sismica)
D.M. II.TT. 14.01.2008
D.M. II.TT. 04.02.2008

Normativa di riferimento (regionale)

DA INSERIRE A CURA DI CIASCUN O.R.

Procedura operativa

1. Localizzazione dell'area di intervento su base cartografica 1:5.000 (Carta Tecnica Regionale) con indicazione del/dei numero/i di elemento (il numero è composto da 6 cifre di cui le prime tre sono relative al Foglio IGMI in scala 1:50.000).
2. Cartografia dei vincoli esistenti (idrogeologico, da Piano Straordinario o Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, da strumento urbanistico) o in *iter* di adozione nonché degli studi a carattere territoriale esistenti su base topografica C.T.R. in scala 1:5.000.
3. Rilevamento geolitologico e/o geomorfologico sull'area in esame e redazione della relativa carta in scala minima 1:5.000 (base topografica C.T.R.).
4. Determinazione delle caratteristiche idrogeologiche dell'area anche attraverso il censimento di eventuali pozzi presenti in zona e la misura dei livelli in fori di sondaggio esistenti o opportunamente realizzati strumentati mediante piezometro.
5. Programmazione di una campagna di indagini dirette o indirette volte alla ricostruzione dell'assetto geometrico dei corpi geologici nel sottosuolo. Il numero di indagini, a prescindere dalle dimensioni lineari ed areali dell'opera, non può essere inferiore a 1 ed eventualmente essere integrato da pozzetti esplorativi e/o trincee di ispezione realizzati mediante escavatore meccanico. La tipologia delle indagini dovrà consentire valutazioni di merito sul volume geologico significativo. Le indagini previste in fase di redazione della relazione geologica possono essere utilizzate, se condivise dal professionista incaricato, in fase di redazione della relazione geotecnica, purché, in tal caso, le indagini, le analisi e le prove di laboratorio siano conformi a quanto disposto al paragrafo 6.2.2 delle NTC 2008.
6. Repertorio fotografico relativo alla zona di progetto ed alle indagini eseguite.
7. Redazione della carta geologica o geolitologica in scala minima 1:5.000 su base topografica C.T.R.
8. Redazione della carta di ubicazione indagini in scala minima 1:2.000 su base topografica C.T.R.
9. Raccolta delle elaborazioni condotte a seguito delle indagini; raccolta delle elaborazioni condotte per l'interpretazione dei dati provenienti da eventuali campagne di prospezioni geofisiche.
10. Elaborazione di una o più sezioni del modello geologico atte alla ricostruzione dello schema geologico del sottosuolo, riportante le unità individuate e i relativi spessori.
11. Redazione della relazione di sintesi in cui vengano descritti: lo scenario geologico di riferimento e l'assetto geometrico del sottosuolo; lo scenario geomorfologico e gli eventuali fenomeni evolutivi; le caratteristiche litologiche dei terreni affioranti e sub-affioranti; lo schema di circolazione idrica sotterranea con riferimento alle caratteristiche di permeabilità dei diversi litotipi, compresa l'individuazione (anche cartografica) di pozzi e/o sorgenti; i livelli di pericolosità riscontrati ed gli elementi di criticità ad essi connessi in relazione con la tipologia di intervento previsto; le ipotesi di

intervento per la mitigazione delle criticità emerse; eventuali prescrizioni progettuali; le caratteristiche sismiche del sito (in relazione con gli studi sismogenetici condotti e/o con studi originali); il valore dell'accelerazione di progetto con riferimento alle NTC 2008; gli esiti di eventuali studi di Microzonazione Sismica; gli esiti degli studi propedeutici alla redazione dei Piani Stralcio per l'Assetto Idrogeologico e di quanto altro prodotto da Enti o strutture pubbliche per la definizione dei livelli di pericolosità locali. In relazione con la complessità geologica dell'area, della qualità e della quantità di indagini pre-esistenti disponibili, il Professionista esprimerà un giudizio di attendibilità del modello geologico ricostruito, al fine di consentire all'estensore dello studio geotecnico, di predisporre ulteriori approfondimenti. L'attendibilità viene espressa attraverso un indice cui corrispondono i seguenti livelli: 1 = scarso; 2 = mediocre; 3 = sufficiente; 4 = buono; 5 = ottimo.

Indicazioni sulle indagini geognostiche da eseguire per la redazione della relazione geotecnica secondo litologia interessata e complessità geologica del sito.

(La tipologia ed il numero delle indagini da effettuare rimangono a discrezione del professionista in riferimento ai dati in suo possesso relativi ad altri lavori svolti nell'area; in ogni caso dette indagini devono fare riferimento alle indicazioni dettate dalle normative vigenti)

Roccia	**Depositi ghiaiosi cementati e/o molto addensati, argilliti**	**Roccia molto alterata, coperture detritiche, depositi sabbiosi e/o limosi, argillosi compatti**	**Depositi sabbiosi addensati; limosi ed argillosi da consistenti a mediamente consistenti**	**Depositi sabbiosi poco addensati, limosi ed argillosi da mediamente consistenti a scarsamente consistenti**	**Depositi di colmata, limi e sabbie sciolte, argille organiche, torbe, corpi di frana**
• Rilievi geomeccanici e su affioramenti rappresentativi del substrato litoide e valutazione dell'indice RMR (e/o altri Q, GSI, ecc.), misure sclerometriche e di scabrezza lungo le pareti delle discontinuità • Prove geotecniche di laboratorio per la valutazione della resistenza a compressione	• Pozzetti esplorativi, trincee • Indagini sismiche a rifrazione	• Pozzetti esplorativi, trincee • Indagini sismiche a rifrazione • Prove penetrometriche dinamiche	• Pozzetti esplorativi, trincee • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Prove penetrometriche dinamiche	• Pozzetti esplorativi, trincee • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Prove penetrometriche statiche • Prove penetrometriche dinamiche	• Pozzetti esplorativi, trincee • Sondaggi a carotaggio continuo • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Prove penetrometriche statiche • Prove penetrometriche dinamiche • Prove SPT in foro di sondaggio • Prove scissometriche • Prove pressiometriche e dilatometriche • Prove di carico su piastra

3.2.3. STANDARD 3

Costruzione di un edificio di notevole impegno costruttivo

Normativa di riferimento (nazionale)

D.P.R. 380/01
D.M. 11.03.1988 (Zona 4 sismica)
D.M. II.TT. 14.01.2008
D.M. II.TT. 04.02.2008

Normativa di riferimento (regionale)

DA INSERIRE A CURA DI CIASCUN O.R.

Procedura operativa

1. Localizzazione dell'area di intervento su base cartografica 1:5.000 (Carta Tecnica Regionale) con indicazione del/dei numero/i di elemento (il numero è composto da 6 cifre di cui le prime tre sono relative al Foglio IGMI in scala 1:50.000).
2. Cartografia dei vincoli esistenti (idrogeologico, da Piano Straordinario o Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, da strumento urbanistico) o in *iter* di adozione nonché degli studi a carattere territoriale esistenti su base topografica C.T.R. in scala 1:5.000.
3. Rilevamento geolitologico e/o geomorfologico sull'area in esame e redazione della relativa carta in scala minima 1:5.000 (base topografica C.T.R.).
4. Determinazione delle caratteristiche idrogeologiche dell'area anche attraverso il censimento di eventuali pozzi presenti in zona e la misura dei livelli in fori di sondaggio esistenti o opportunamente realizzati strumentati mediante piezometro.
5. Programmazione di una campagna di indagini dirette o indirette volte alla ricostruzione dell'assetto geometrico dei corpi geologici nel sottosuolo. Il numero di indagini, a prescindere dalle dimensioni lineari ed areali dell'opera, non può essere inferiore a 1 per ogni 250 mq di sagoma ed eventualmente essere integrato da pozzetti esplorativi e/o trincee di ispezione realizzati mediante escavatore meccanico. La tipologia delle indagini dovrà consentire valutazioni di merito sul volume geologico significativo. Le indagini previste in fase di redazione della relazione geologica possono essere utilizzate, se condivise dal professionista incaricato, in fase di redazione della relazione geotecnica, purché, in tal caso, le indagini, le analisi e le prove di laboratorio siano conformi a quanto disposto al paragrafo 6.2.2 delle NTC 2008.
6. Repertorio fotografico relativo alla zona di progetto ed alle indagini eseguite.
7. Redazione della carta geologica o geolitologica in scala minima 1:5.000 su base topografica C.T.R.
8. Redazione della carta idrogeologica in scala minima 1:5.000 su base topografica C.T.R.
9. Redazione della carta di ubicazione indagini in scala minima 1:2.000 su base topografica C.T.R.
10. Raccolta delle elaborazioni condotte a seguito delle indagini; raccolta delle elaborazioni condotte per l'interpretazione dei dati provenienti da eventuali campagne di prospezioni geofisiche.
11. Elaborazione di più sezioni del modello geologico atte alla ricostruzione dello schema geologico del sottosuolo, riportante le unità individuate e i relativi spessori.
12. Redazione della relazione di sintesi in cui vengano descritti: lo scenario geologico di riferimento e l'assetto geometrico del sottosuolo; lo scenario geomorfologico e gli eventuali fenomeni evolutivi; le caratteristiche litologiche dei terreni affioranti e sub-affioranti; lo schema di circolazione idrica sotterranea con riferimento alle caratteristiche di permeabilità dei diversi litotipi, compresa

l'individuazione (anche cartografica) di pozzi e/o sorgenti; i livelli di pericolosità riscontrati ed gli elementi di criticità ad essi connessi in relazione con la tipologia di intervento previsto; le ipotesi di intervento per la mitigazione delle criticità emerse; eventuali prescrizioni progettuali; le caratteristiche sismiche del sito (in relazione con gli studi sismogenetici condotti e/o con studi originali); il valore dell'accelerazione di progetto con riferimento alle NTC 2008; gli esiti di eventuali studi di Microzonazione Sismica; gli esiti degli studi propedeutici alla redazione dei Piani Stralcio per l'Assetto Idrogeologico e di quanto altro prodotto da Enti o strutture pubbliche per la definizione dei livelli di pericolosità locali. In relazione con la complessità geologica dell'area, della qualità e della quantità di indagini pre-esistenti disponibili, il Professionista esprimerà un giudizio di attendibilità del modello geologico ricostruito, al fine di consentire all'estensore dello studio geotecnico, di predisporre ulteriori approfondimenti. L'attendibilità viene espressa attraverso un indice cui corrispondono i seguenti livelli: 1 = scarso; 2 = mediocre; 3 = sufficiente; 4 = buono; 5 = ottimo.

Indicazioni sulle indagini geognostiche da eseguire per la redazione della relazione geotecnica secondo litologia interessata e complessità geologica del sito.

(La tipologia ed il numero delle indagini da effettuare rimangono a discrezione del professionista in riferimento ai dati in suo possesso relativi ad altri lavori svolti nell'area; in ogni caso dette indagini devono fare riferimento alle indicazioni dettate dalle normative vigenti)

Roccia	Depositi ghiaiosi cementati e/o molto addensati, argilliti	Roccia molto alterata, coperture detritiche, depositi sabbiosi e/o limosi, argillosi compatti	Depositi sabbiosi addensati; limosi ed argillosi da consistenti a mediamente consistenti	Depositi sabbiosi poco addensati, limosi ed argillosi da mediamente consistenti a scarsamente consistenti	Depositi di colmata, limi e sabbie sciolte, argille organiche, torbe, corpi di frana
• Rilievi geomeccanici e su affioramenti rappresentativi del substrato litoide e valutazione dell'indice RMR (e/o altri Q, GSI, ecc.), misure sclerometriche e di scabrezza lungo le pareti delle discontinuità • Prove geotecniche di laboratorio per la valutazione della resistenza a compressione • Sondaggi a carotaggio continuo • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro	• Pozzetti esplorativi, trincee • Sondaggi a carotaggio continuo • Indagini sismiche (ReMi, MASW o down-hole) • Prove SPT in foro di sondaggio • Piezometri	• Pozzetti esplorativi, trincee • Sondaggi a carotaggio continuo • Indagini sismiche (ReMi, MASW o down-hole) • Prove SPT in foro di sondaggio • Piezometri • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Prove penetrometriche dinamiche	• Pozzetti esplorativi, trincee • Sondaggi a carotaggio continuo • Indagini sismiche (ReMi, MASW o down-hole) • Prove SPT in foro di sondaggio • Piezometri • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Prove penetrometriche dinamiche	• Pozzetti esplorativi, trincee • Sondaggi a carotaggio continuo • Indagini sismiche (ReMi, MASW o down-hole) • Prove SPT in foro di sondaggio • Piezometri • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Prove penetrometriche statiche • Prove penetrometriche dinamiche • Prove scissometriche • Prove pressiometriche e dilatometriche • Prove di carico su piastra	• Pozzetti esplorativi, trincee • Sondaggi a carotaggio continuo • Indagini sismiche (ReMi, MASW o down-hole) • Prove SPT in foro di sondaggio • Piezometri • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Prove penetrometriche statiche • Prove penetrometriche dinamiche • Prove scissometriche • Prove pressiometriche e dilatometriche • Prove di carico su piastra

3.2.4. STANDARD 4
Progettazione stradale

Normativa di riferimento (nazionale)

D.P.R. 380/01
D.M. 11.03.1988 (Zona 4 sismica)
D.M. II.TT. 14.01.2008
D.M. II.TT. 04.02.2008

Normativa di riferimento (regionale)

DA INSERIRE A CURA DI CIASCUN O.R.

Procedura operativa

Fase di Progetto Preliminare

1. Descrizione del tracciato dal punto di vista planoaltimetrico.
2. Studio bibliografico ed inquadramento geologico regionale dell'opera.
3. Raccolta delle indagini geognostiche esistenti e cartografia della loro ubicazione con rappresentazione del tracciato di progetto.
4. Redazione di una carta dei vincoli esistenti (idrogeologico, paesaggistico, da Piano Straordinario o Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, da strumento urbanistico) o in *iter* di adozione (Proposte di PSAI) nonché degli studi a carattere territoriale esistenti su base topografica C.T.R. in scala 1:5.000.
5. Verifica delle interferenze e analisi delle criticità connesse con la presenza di punti obbligati.
6. Redazione di una carta geologica e di una geomorfologica a scala d'intervento (1:10.000 oppure 1:5.000) su base topografica CTR con indicazione del tracciato.
7. Schede delle criticità.
8. Redazione del progetto di campagna indagini dirette ed indirette.
9. Redazione della relazione di sintesi in cui vengano descritti: lo scenario geologico di riferimento e l'assetto geometrico del sottosuolo; lo scenario geomorfologico e gli eventuali fenomeni evolutivi; le caratteristiche litologiche dei terreni affioranti e sub-affioranti; lo schema di circolazione idrica sotterranea con riferimento alle caratteristiche di permeabilità dei diversi litotipi; i livelli di pericolosità riscontrati e gli elementi di criticità ad essi connessi in relazione con la tipologia di intervento previsto; le caratteristiche sismiche della fascia di territorio interessata dal tracciato (in relazione con gli studi sismogenetici condotti e presenti in bibliografia); il valore delle accelerazioni di progetto con riferimento alle NTC 2008 nei settori in cui sono previste opere d'arte; gli esiti di eventuali studi di Microzonazione Sismica; gli esiti degli studi propedeutici alla redazione dei Piani Stralcio per l'Assetto Idrogeologico e di quanto altro prodotto da Enti o strutture pubbliche per la definizione dei livelli di pericolosità locali. In relazione con la quantità e la qualità dei dati disponibili (bibliografici e derivanti da studi specialistici pregressi) e con l'articolazione dell'intervento in relazione con il contesto locale (e dei livelli di pericolosità presenti) il Professionista fornirà un giudizio di complessità dello scenario naturale al fine di consentire all'estensore dello studio geotecnico, di predisporre opportuni approfondimenti nelle successive fasi progettuali.
10. Le eventuali zone ad elevata criticità interessati dalla strada a progetto potranno essere analizzate proponendo tracciati alternativi o speciali precauzioni tecniche volte a ridurre la vulnerabilità dell'opera o la riduzione dell'impatto della stessa sull'ambiente.

Fase di Progetto Definitivo/Esecutivo

1. Studio geologico e geomorfologico dell'area circostante al tracciato con particolare riferimento alle condizioni di stabilità dei versanti e alla loro possibile evoluzione in relazione alla realizzazione dell'opera.
2. Studio geolitologico degli affioramenti esistenti e caratterizzazione speditiva delle terre o delle rocce secondo le norme UNI.
3. Redazione di una carta geolitologica di dettaglio (scala 1:10.000 o scala maggiore) ottenuta con base topografica della Carta Tecnica Regionale.
4. Redazione di una carta geomorfologica di dettaglio (scala 1:10.000 o scala maggiore) ottenuta con base topografica della Carta Tecnica Regionale.
5. Rassegna fotografica con fotografie panoramiche del tracciato e particolari delle stazioni di rilievo e dei punti di affioramento.
6. Relazione sulla campagna di indagini dirette e indirette volta alla ricostruzione del modello geologico ed alla caratterizzazione litologica del volume significativo. Il numero di indagini è funzione della complessità geologica e morfologica del tracciato ma deve garantire la disponibilità di dati litostratigrafici, idrogeologici e fisici (anche da prove *in situ*) dei diversi settori del tracciato ed in corrispondenza di ciascuna opera d'arte o di particolare incidenza sul territorio.
7. Presentazione degli elaborati prodotti a seguito dell'esecuzione della campagna di indagini geognostiche.
8. Ricostruzione di profili geologici e geolitologici con elementi di geomorfologia longitudinali (in asse al tracciato) e trasversali (perpendicolari ad esso); le sezioni trasversali saranno ricostruite nei settori interessati da trincee, rilevati o opere d'arte e laddove sono stati riscontrati elementi geomorfologici significativi ai fini della sicurezza dell'intervento.
9. Ricostruzione litostratigrafica di dettaglio in corrispondenza delle spalle di viadotti e/o degli imbocchi delle gallerie.
10. Considerazioni geologico-applicative sull'esecuzione di trincee, rilevati, opere d'arte ed opere speciali in relazione alla stabilità dei luoghi e delle opere, con eventuali previsioni di consolidamento localizzato o areale.
11. Redazione della relazione di sintesi in cui vengano descritti: lo scenario geologico locale in relazione con quello di riferimento (elaborato in fase preliminare) nonché l'assetto geometrico locale delle diverse unità; lo scenario geomorfologico locale e la presenza di eventuali fenomeni evolutivi, distinguendoli in funzione dello stato di attività, della distribuzione, dello stile e dello stadio; le caratteristiche litologiche (anche mediante l'utilizzo di litofacies) dei terreni affioranti e sub-affioranti; lo schema di circolazione idrica sotterranea con riferimento alle caratteristiche di permeabilità dei diversi litotipi; i livelli di pericolosità riscontrati e gli elementi di criticità ad essi connessi in relazione con la tipologia di intervento previsto; le caratteristiche sismiche della fascia di territorio interessata dal tracciato (in relazione con gli studi geofisici condotti nell'ambito dello studio, integrati da dati di bibliografia); il valore delle accelerazioni di progetto con riferimento alle NTC 2008 nei settori in cui sono previste opere d'arte; gli esiti degli studi di Microzonazione Sismica compresa la RSL; gli esiti degli studi propedeutici alla redazione dei Piani Stralcio per l'Assetto Idrogeologico e di quanto altro prodotto da Enti o strutture pubbliche per la definizione dei livelli di pericolosità locali; l'analisi delle criticità geologico-applicative in relazione con l'intervento complessivo e/o con alcune delle opere di progetto. In relazione con la quantità e la qualità dei dati acquisiti (mediante specifiche indagini e/o rilievi di campo) e con l'articolazione dell'intervento in relazione con il contesto locale (e dei livelli di pericolosità presenti) il Professionista esprimerà un giudizio di attendibilità del modello geologico ricostruito, al fine di consentire all'estensore dello studio geotecnico, di predisporre ulteriori approfondimenti. L'attendibilità viene espressa attraverso un indice cui corrispondono i seguenti livelli: 1 = scarso; 2 = mediocre; 3 = sufficiente; 4 = buono; 5 = ottimo.

12. Redazione degli elaborati necessari per la predisposizione di eventuali varianti agli strumenti urbanistici nei casi in cui l'intervento determini una variazione della destinazione d'uso delle aree interessate dal progetto (art. 13 L. 2/2/1974 n. 64).
13. Analisi del movimento materie e tecniche di reimpiego delle terre, cave di prestito, ubicazione possibili aree da destinarsi per deposito dei materiali di risulta degli scavi o di smarino delle gallerie.

Indicazioni sulle indagini geognostiche da eseguire per la redazione della relazione geotecnica secondo litologia interessata e complessità geologica del sito.

(La tipologia ed il numero delle indagini da effettuare rimangono a discrezione del professionista in riferimento ai dati in suo possesso relativi ad altri lavori svolti nell'area; in ogni caso dette indagini devono fare riferimento alle indicazioni dettate dalle normative vigenti)

Roccia	**Depositi ghiaiosi cementati e/o molto addensati, argilliti**	**Roccia molto alterata, coperture detritiche, depositi sabbiosi e/o limosi, argillosi compatti**	**Depositi sabbiosi addensati; limosi ed argillosi da consistenti a mediamente consistenti**	**Depositi sabbiosi poco addensati, limosi ed argillosi da mediamente consistenti a scarsamente consistenti**	**Depositi di colmata, limi e sabbie sciolte, argille organiche, torbe, corpi di frana**
• Rilievi geomeccanici e su affioramenti rappresentativi del substrato litoide e valutazione dell'indice RMR (e/o altri Q, GSI, ecc.), misure sclerometriche e di scabrezza lungo le pareti delle discontinuità • Prove geotecniche di laboratorio per la valutazione della resistenza a compressione • Sondaggi a carotaggio continuo • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro	• Pozzetti esplorativi, trincee • Sondaggi a carotaggio continuo • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro • Prove SPT in foro di sondaggio • Piezometri	• Pozzetti esplorativi, trincee • Sondaggi a carotaggio continuo • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro • Prove SPT in foro di sondaggio • Piezometri • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Prove penetrometriche dinamiche • Prove pressiometriche e dilatometriche • Prove di carico su piastra	• Pozzetti esplorativi, trincee • Prove di densità in sito • Sondaggi a carotaggio continuo • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro • Prove SPT in foro di sondaggio • Piezometri • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Prove penetrometriche dinamiche • Prove scissometriche • Prove pressiometriche e dilatometriche • Prove di carico su piastra	• Pozzetti esplorativi, trincee • Sondaggi a carotaggio continuo • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro • Prove SPT in foro di sondaggio • Piezometri • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Prove penetrometriche statiche • Prove penetrometriche dinamiche • Prove scissometriche • Prove pressiometriche e dilatometriche • Prove di carico su piastra	• Pozzetti esplorativi, trincee • Sondaggi a carotaggio continuo • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro • Prove SPT in foro di sondaggio • Piezometri • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Prove penetrometriche statiche • Prove penetrometriche dinamiche • Prove scissometriche • Prove pressiometriche e dilatometriche • Prove di carico su piastra

3.2.5. STANDARD 5
Progettazione di reti di distribuzione (fognarie, idriche, metanodotti, ecc.)

Normativa di riferimento (nazionale)

D.P.R. 380/01
D.M. II.TT. 14.01.2008
D.M. II.TT. 04.02.2008

Normativa di riferimento (regionale)

DA INSERIRE A CURA DI CIASCUN O.R.

Procedura operativa

Studio Preliminare

1. Descrizione del tracciato della rete dal punto di vista planoaltimetrico.
2. Studio bibliografico ed inquadramento geologico regionale dell'opera.
3. Raccolta delle indagini geognostiche esistenti e cartografia della loro ubicazione con rappresentazione del tracciato di progetto..
4. Redazione di una carta dei vincoli esistenti (idrogeologico, paesaggistico, da Piano Straordinario o Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, da strumento urbanistico) o in iter di adozione (Proposte di PSAI) nonché degli studi a carattere territoriale esistenti su base topografica C.T.R. in scala 1:5.000.
5. Verifica delle interferenze e analisi delle criticità connesse con la presenza di punti obbligati.
6. Redazione di una carta geologica e di una geomorfologica a scala d'intervento (1:10.000 oppure 1:5.000) su base topografica CTR con indicazione del tracciato.
7. Schede delle criticità geologico-applicative.
8. Redazione del progetto di campagna indagini dirette ed indirette.
9. Redazione della relazione di sintesi in cui vengano descritti: lo scenario geologico di riferimento e l'assetto geometrico del sottosuolo; lo scenario geomorfologico e gli eventuali fenomeni evolutivi; le caratteristiche litologiche dei terreni affioranti e sub-affioranti; lo schema di circolazione idrica sotterranea con riferimento alle caratteristiche di permeabilità dei diversi litotipi; i livelli di pericolosità riscontrati e gli elementi di criticità ad essi connessi in relazione con la tipologia di intervento previsto; le caratteristiche sismiche della fascia di territorio interessata dal tracciato (in relazione con gli studi sismogenetici condotti e presenti in bibliografia); il valore delle accelerazioni di progetto con riferimento alle NTC 2008 nei settori in cui sono previste opere d'arte; gli esiti di eventuali studi di Microzonazione Sismica; gli esiti degli studi propedeutici alla redazione dei Piani Stralcio per l'Assetto Idrogeologico e di quanto altro prodotto da Enti o strutture pubbliche per la definizione dei livelli di pericolosità locali; le criticità geologico-applicative connesse con la realizzazione di scavi e trincee. In relazione con la quantità e la qualità dei dati disponibili (bibliografici e derivanti da studi specialistici pregressi) e con l'articolazione dell'intervento in relazione con il contesto locale (e dei livelli di pericolosità presenti) il Professionista fornirà un giudizio di complessità dello scenario naturale al fine di consentire all'estensore dello studio geotecnico, di predisporre opportuni approfondimenti nelle successive fasi progettuali. Le eventuali zone ad elevata criticità interessati dalle reti potranno essere analizzate proponendo tracciati alternativi o speciali precauzioni tecniche volte a ridurre la vulnerabilità dell'opera o il rischio di perdite nel sottosuolo ovvero la diffusione di sostanze inquinanti.

Fase di Progetto Definitivo/Esecutivo

1. Studio geologico e geomorfologico dell'area circostante al tracciato con particolare riferimento alle condizioni di stabilità dei versanti e alla loro possibile evoluzione in relazione alla realizzazione dell'opera.
2. Studio geolitologico degli affioramenti esistenti e caratterizzazione speditiva delle terre secondo le norme UNI EN14688 (1-2) e delle rocce secondo la norma UNI EN 14689.
3. Redazione di una carta geolitologica di dettaglio (scala 1:10.000 o scala maggiore) ottenuta con base topografica della Carta Tecnica Regionale.
4. Redazione di una carta geomorfologica di dettaglio (scala 1:10.000 o scala maggiore) ottenuta con base topografica della Carta Tecnica Regionale.
5. Rassegna fotografica con fotografie panoramiche del tracciato e particolari delle stazioni di rilievo e dei punti di affioramento.
6. Relazione sulla campagna di indagini dirette e indirette volta alla ricostruzione del modello geologico ed alla caratterizzazione litologica del volume significativo. Il numero di indagini è funzione della complessità geologica e morfologica del tracciato ma deve garantire la disponibilità di dati litostratigrafici, idrogeologici e fisici (anche da prove in situ) dei diversi settori del tracciato ed in corrispondenza di ciascuna opera d'arte o di particolare incidenza sul territorio.
7. Presentazione degli elaborati prodotti a seguito dell'esecuzione della campagna di indagini geognostiche.
8. Ricostruzione di profili geologici e geolitologici con elementi di geomorfologia longitudinali (in asse al tracciato) e trasversali (perpendicolari ad esso); le sezioni trasversali saranno ricostruite nei settori particolarmente interessanti sotto il profilo geologico e geomorfologico (presenza di fenomenologie in atto o incipienti).
9. Ricostruzione litostratigrafica di dettaglio in corrispondenza dei manufatti previsti dal progetto (serbatoi, partitori, ponticelli, sfioratoi, ecc.).
10. Considerazioni geologico-applicative sull'esecuzione degli scavi con particolare riferimento agli spessori delle coperture e con la previsione di eventuali interventi di consolidamento (opere di sostegno) localizzate oppure diffuse.
11. Redazione della relazione di sintesi in cui vengano descritti: lo scenario geologico locale in relazione con quello di riferimento (elaborato in fase preliminare) nonché l'assetto geometrico locale delle diverse unità; lo scenario geomorfologico locale e la presenza di eventuali fenomeni evolutivi, distinguendoli in funzione dello stato di attività, della distribuzione, dello stile e dello stadio; le caratteristiche litologiche (anche mediante l'utilizzo di litofacies) dei terreni affioranti e sub-affioranti; lo schema di circolazione idrica sotterranea con riferimento alle caratteristiche di permeabilità dei diversi litotipi; i livelli di pericolosità riscontrati e gli elementi di criticità ad essi connessi in relazione con la tipologia di intervento previsto; le caratteristiche sismiche della fascia di territorio interessata dal tracciato (in relazione con gli studi geofisici condotti nell'ambito dello studio, integrati da dati di bibliografia); il valore delle accelerazioni di progetto con riferimento alle NTC 2008 nei settori in cui sono previste opere in CLS armato; gli esiti degli studi di Microzonazione Sismica compresa la RSL; gli esiti degli studi propedeutici alla redazione dei Piani Stralcio per l'Assetto Idrogeologico e di quanto altro prodotto da Enti o strutture pubbliche per la definizione dei livelli di pericolosità locali; l'analisi delle criticità geologico-applicative in relazione con l'intervento complessivo e/o con alcune delle opere di progetto. In relazione con la quantità e la qualità dei dati acquisiti (mediante specifiche indagini e/o rilievi di campo) e con l'articolazione dell'intervento in relazione con il contesto locale (e dei livelli di pericolosità presenti) il Professionista esprimerà un giudizio di attendibilità del modello geologico ricostruito, al fine di consentire all'estensore dello studio geotecnico, di predisporre ulteriori approfondimenti. L'attendibilità viene espressa attraverso un indice cui corrispondono i seguenti livelli: 1 = scarso; 2 = mediocre; 3 = sufficiente; 4 = buono; 5 = ottimo.

Indicazioni sulle indagini geognostiche da eseguire per la redazione della relazione geotecnica secondo litologia interessata e complessità geologica del sito.

(La tipologia ed il numero delle indagini da effettuare rimangono a discrezione del professionista in riferimento ai dati in suo possesso relativi ad altri lavori svolti nell'area; in ogni caso dette indagini devono fare riferimento alle indicazioni dettate dalle normative vigenti)

Roccia	Depositi ghiaiosi cementati e/o molto addensati, argilliti	Roccia molto alterata, coperture detritiche, depositi sabbiosi e/o limosi, argillosi compatti	Depositi sabbiosi addensati; limosi ed argillosi da consistenti a mediamente consistenti	Depositi sabbiosi poco addensati, limosi ed argillosi da mediamente consistenti a scarsamente consistenti	Depositi di colmata, limi e sabbie sciolte, argille organiche, torbe, corpi di frana
• Rilievi geomeccanici e su affioramenti rappresentativi del substrato litoide e valutazione dell'indice RMR (e/o altri Q, GSI, ecc.), misure sclerometriche e di scabrezza lungo le pareti delle discontinuità • Sondaggi a carotaggio continuo • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro	• Pozzetti esplorativi, trincee • Sondaggi a carotaggio continuo • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro • Prove SPT in foro di sondaggio • Piezometri	• Pozzetti esplorativi, trincee • Sondaggi a carotaggio continuo • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro • Prove SPT in foro di sondaggio • Piezometri • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Prove penetrometriche dinamiche • Prove pressiometriche e dilatometriche • Prove di carico su piastra	• Pozzetti esplorativi, trincee • Prove di densità in sito • Sondaggi a carotaggio continuo • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro • Prove SPT in foro di sondaggio • Piezometri • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Prove penetrometriche dinamiche • Prove scissometriche • Prove pressiometriche e dilatometriche • Prove di carico su piastra	• Pozzetti esplorativi, trincee • Sondaggi a carotaggio continuo • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro • Prove SPT in foro di sondaggio • Piezometri • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Prove penetrometriche statiche • Prove penetrometriche dinamiche • Prove scissometriche • Prove pressiometriche e dilatometriche • Prove di carico su piastra	• Pozzetti esplorativi, trincee • Sondaggi a carotaggio continuo • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro • Prove SPT in foro di sondaggio • Piezometri • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Prove penetrometriche statiche • Prove penetrometriche dinamiche • Prove scissometriche • Prove pressiometriche e dilatometriche • Prove di carico su piastra

3.2.6. STANDARD 6

Interventi di stabilizzazione di aree in frana e/o di consolidamento di versanti

Normativa di riferimento (nazionale)

D.P.R. 380/01
D.M. II.TT. 14.01.2008
D.M. II.TT. 04.02.2008

Normativa di riferimento (regionale)

DA INSERIRE A CURA DI CIASCUN O.R.

Procedura operativa

1. Localizzazione dell'area di intervento su base cartografica 1:5.000 (Carta Tecnica Regionale) con indicazione del numero di elemento (il numero è composto da 6 cifre di cui le prime tre sono relative al Foglio IGMI in scala 1:50.000).
2. Analisi fotointerpretativa su stereocoppie e restituzione dei risultati; in caso di disponibilità di stereocoppie riprese in epoche differenti, analisi fotointerpretativa multitemporale e sintesi della dinamica evolutiva del/dei fenomeno/i.
3. Rilevamento geolitologico e geomorfologico di dettaglio sull'area in esame (scala 1:2.000, 1:5.000).
4. Studio geolitologico degli affioramenti esistenti e caratterizzazione speditiva delle terre secondo le norme UNI EN14688 (1-2) e delle rocce secondo la norma UNI EN 14689.
5. Redazione di una carta geolitologica di dettaglio (scala 1:5.000 o scala maggiore) ottenuta con base topografica della Carta Tecnica Regionale.
6. Redazione di una carta geomorfologica di dettaglio (scala 1:5.000 o scala maggiore) ottenuta su base topografica della Carta Tecnica Regionale.
7. Determinazione delle caratteristiche di circolazione idrica sotterranea dell'area anche attraverso il censimento di eventuali pozzi presenti in zona.
8. Rassegna fotografica con fotografie panoramiche dell'area, identificazione dei punti di ripresa e particolari delle stazioni di rilievo e misura.
9. Progettazione di una campagna di indagini dirette e indirette volta alla definizione degli spessori di terreno rimaneggiato ed alla installazione di strumentazione di controllo/monitoraggio (inclinometri, piezometri, estensimetri, tubi spia, ecc.). Il numero di indagini è funzione della complessità geologica e morfologica dell'area ma deve garantire la ricostruzione di profili longitudinali e trasversali attraverso la disponibilità di dati litostratigrafici, idrogeologici e fisici (anche da prove in situ) delle terre in corrispondenza di ciascuna opera strutturale.
10. Realizzazione di rilievi tridimensionali del fenomeno franoso mediante tecniche remote (laser scanner, stereoscopia terrestre, ecc.) – OPZIONALE.
11. Presentazione degli elaborati prodotti a seguito dell'esecuzione della campagna di indagini geognostiche.
12. Ricostruzione di profili longitudinali e/o trasversali con indicazione delle indagini eseguite.
13. Ricostruzione geometrica del sottosuolo in corrispondenza degli interventi strutturali (palificate, paratie, drenaggi profondi, ecc.).
14. Ricostruzione dei livelli piezometrici e dello schema di circolazione idrica nel sottosuolo.
15. Considerazioni geologico-applicative sull'esecuzione delle opere.

16. Redazione della relazione di sintesi in cui vengano descritti: lo scenario geologico locale in relazione con quello regionale; lo scenario geomorfologico di riferimento in cui si inquadra il fenomeno oggetto di interventi; la descrizione accurata del fenomeno (anche per mezzo di immagini) e la sua classificazione cinematica; lo stato di attività del fenomeno, la distribuzione, lo stile e lo stadio; le caratteristiche litologiche dei terreni coinvolti dal fenomeno ed affioranti o sub-affioranti; lo schema di circolazione idrica sotterranea con riferimento ai livelli piezometrici rilevati, alle direttrici di deflusso idrico sotterraneo ed alle caratteristiche di permeabilità dei diversi litotipi; il valore delle accelerazioni di progetto con riferimento alle NTC 2008 nei settori in cui sono previste opere in CLS armato; gli esiti degli studi di Microzonazione Sismica compresa la RSL; gli esiti degli studi propedeutici alla redazione dei Piani Stralcio per l'Assetto Idrogeologico e di quanto altro prodotto da Enti o strutture pubbliche per la definizione dei livelli di pericolosità locali; l'analisi delle criticità geologico-applicative in relazione con l'intervento di progetto. In relazione con la quantità e la qualità dei dati acquisiti (mediante specifiche indagini e/o rilievi di campo) e con l'articolazione dell'intervento il Professionista esprimerà un giudizio di attendibilità del modello geologico-geomorfologico ricostruito, al fine di consentire all'estensore dello studio geotecnico, di predisporre ulteriori approfondimenti. L'attendibilità viene espressa attraverso un indice cui corrispondono i seguenti livelli: 1 = scarso; 2 = mediocre; 3 = sufficiente; 4 = buono; 5 = ottimo.
17. Progettazione dei sistemi di monitoraggio in corso d'opera e definitivi con stesura dei capitolati con le schede tecniche e le specifiche delle attrezzature, modalità di installazione, di controllo e di elaborazione dei dati.

Indicazioni sulle indagini geognostiche da eseguire per la redazione della relazione geotecnica secondo litologia interessata e complessità geologica del sito.

(La tipologia ed il numero delle indagini da effettuare rimangono a discrezione del professionista in riferimento ai dati in suo possesso relativi ad altri lavori svolti nell'area; in ogni caso dette indagini devono fare riferimento alle indicazioni dettate dalle normative vigenti)

Roccia	Depositi ghiaiosi cementati e/o molto addensati, argilliti	Roccia molto alterata, coperture detritiche, depositi sabbiosi e/o limosi, argillosi compatti	Depositi sabbiosi addensati; limosi ed argillosi da consistenti a mediamente consistenti	Depositi sabbiosi poco addensati, limosi ed argillosi da mediamente consistenti a scarsamente consistenti	Depositi di colmata, limi e sabbie sciolte, argille organiche, torbe, corpi di frana
• Rilievi geomeccanici e su affioramenti rappresentativi del substrato litoide e valutazione dell'indice RMR (e/o altri Q, GSI, ecc.), misure sclerometriche e di scabrezza lungo le pareti delle discontinuità • Sondaggi a carotaggio continuo • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro • Piezometri • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Estensimetri • Inclinometri • Monitoraggio topografico	• Pozzetti esplorativi, trincee • Sondaggi a carotaggio continuo • Prove SPT in foro di sondaggio • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro • Piezometri • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Prove penetrometriche dinamiche • Estensimetri • Inclinometri • Video endoscopie • Ricostruzione su base topografica dell'andamento delle cavità	• Pozzetti esplorativi, trincee • Sondaggi a carotaggio continuo • Prove SPT in foro di sondaggio • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro • Piezometri • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Prove penetrometriche dinamiche • Estensimetri • Inclinometri • Monitoraggio topografico	• Pozzetti esplorativi, trincee • Sondaggi a carotaggio continuo • Prove SPT in foro di sondaggio • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro • Piezometri • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Prove penetrometriche dinamiche • Estensimetri • Inclinometri • Monitoraggio topografico	• Pozzetti esplorativi, trincee • Sondaggi a carotaggio continuo • Prove SPT in foro di sondaggio • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro • Piezometri • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Prove penetrometriche statiche • Prove penetrometriche dinamiche • Estensimetri • Inclinometri • Monitoraggio topografico	• Pozzetti esplorativi, trincee • Sondaggi a carotaggio continuo • Prove SPT in foro di sondaggio • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro • Piezometri • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Prove penetrometriche statiche • Prove penetrometriche dinamiche • Estensimetri • Inclinometri • Monitoraggio topografico

3.2.7. STANDARD 7

Indagini geologiche preordinate alla redazione di uno strumento urbanistico (P.R.G., P.U.C., Piani Strutturali, P.A.T., PdF e loro varianti, Piani di recupero, Piani di lottizzazione, PIP e loro varianti, ERP, PEEP, Piani particolareggiati, pratiche SUAP)

Normativa di riferimento (nazionale)

D.P.R. 380/01
D.M. II.TT. 14.01.2008

Normativa di riferimento (regionale)

DA INSERIRE A CURA DI CIASCUN O.R.

Procedura operativa

1. Localizzazione geografica del centro abitato/contrada/frazione/borgata su base cartografica 1:5.000 (Carta Tecnica Regionale) con indicazione del/dei numero/i di elemento (il numero è composto da 6 cifre di cui le prime tre sono relative al Foglio IGMI in scala 1:50.000); nel caso in cui l'area di studio fosse distante dal centro abitato/ contrada/frazione/borgata e tale, comunque, da non consentire l'individuazione dell'area all'interno di uno stralcio in formato A3, è possibile utilizzare la base cartografica in scala 1:25.000 (Tavoletta) edita dal I.G.M.I. (indicando il numero ed il nome della Tavoletta) per la sola localizzazione dell'area.
2. Studio bibliografico preliminare con indicazione delle fonti consultate (da riportare in appendice alla relazione). Lo studio bibliografico non può prescindere dalla consultazione degli studi a carattere territoriale (Studio a scala regionale, Progetto IFFI, ecc.) e di quelli propedeutici alla redazione del Piano per l'Assetto Idrogeologico del bacino idrogeologico di afferenza (carta inventario dei fenomeni franosi e valanghivi, carta della pericolosità da frana). Per questo ultimo caso devono essere riportati, all'interno della relazione o in tavole allegate, gli stralci tematici suddetti riguardanti l'area di studio.
3. Analisi fotointerpretativa su idonea base aerofotogrammetrica con ricostruzione delle lineazioni tettoniche principali e di eventuali fronti di sovrascorrimento, delle aree soggette a fenomenologie morfoevolutive di versante. L'esito dell'analisi fotointerpretativa (per i PRG, Piani Urbanistici o Strutturali, i PdF e le loro varianti generali, dovrà essere indicato anche il numero delle strisciate e dei fotogrammi consultati, nonché l'anno di volo e la quota di ripresa) dovrà essere opportunamente descritto all'interno della relazione.
4. Rilevamento geolitologico e geomorfologico di campagna sull'area di studio e su una significativa porzione di territorio circostante (scala 1:2.000 – 1:5.000).
5. Programmazione ed esecuzione di una campagna di indagini dirette (sondaggi geognostici, prove penetrometriche, ecc.) e indirette (prospezioni geofisiche di superficie e in foro) volta alla caratterizzazione litologica e geometrica del sottosuolo. Il numero di indagini è funzione del numero di indagini preesistenti e della complessità geologica e geomorfologica ma non può prescindere dalla caratterizzazione litostratigrafica minima per ciascuna facies, dall'analisi puntuale in corrispondenza dei settori destinati ad edifici di interesse strategico e dalla predisposizione di strumentazioni di controllo dei livelli freatici, soprattutto in assenza di pozzi o emergenze idriche nell'area.
6. Repertorio fotografico con indicazione dei punti di ripresa delle immagini terrestri.
7. Redazione della carta delle acclività (scala 1:5.000 o maggiore).
8. Redazione della carta delle pericolosità naturali (scala 1:5.000 o maggiore).

9. Redazione della ***Carta litologica con ubicazione delle indagini*** (scala 1:5.000 o maggiore) su base topografica C.T.R. o piano quotato a curve di livello opportunamente rilevato. Lo strato informativo deve descrivere esclusivamente la natura petrografica e sedimentologica dei terreni affioranti (calcare, marna, sabbia, conglomerato, ecc.) senza attribuzioni di carattere formazionale che dovranno, invece, essere descritte all'interno dell'elaborato di sintesi (relazione) anche facendo ricorso a stralci cartografici geologici (in cui, viceversa, vengono indicate le Formazioni) o schemi strutturali (in cui vengono indicate le Unità).
10. Redazione della ***Carta geomorfologica*** (scala 1:5.000 o maggiore) su base topografica C.T.R. o piano quotato a curve di livello opportunamente rilevato. Lo strato informativo sarà descritto attraverso linee colorate o poligoni campiti – mai riempimenti solidi - e secondo la simbologia proposta dal Gruppo Nazionale Geografia Fisica e Geomorfologia (1994). Le forme saranno distinte per agente geomorfologico limitatamente a quelle rilevate sul terreno e mediante l'analisi fotointerpretativa (la legenda non dovrà contenere simboli non contenuti in carta).
11. Redazione di ***Profili litologici*** significativi (in corrispondenza dei settori di intervento e con indicazione delle opere) con ubicazione delle indagini in scala quadra e a scala alterata (10:1 della scala quadra sull'asse delle ordinate) su base topografica C.T.R. o piano quotato a curve di livello opportunamente rilevato. Ogni profilo dovrà recare la doppia scala delle ordinate (a destra ed a sinistra) con quote espresse in metri sul livello del mare (m s.l.m.). Ciascun profilo dovrà contenere almeno due indagini geognostiche puntuali (sondaggi, prove penetrometriche statiche o dinamiche continue, ecc.) realizzate in asse al profilo. Gli spessori delle diverse unità litologiche dovranno essere congruenti con i risultati delle indagini dirette. Eventuali indagini proiettate, che potranno essere aggiunte a quelle eseguite lungo la traccia di profilo, dovranno essere indicate con diverso cromatismo/simbolo a partire dalla loro reale quota di esecuzione.
12. Determinazione delle caratteristiche idrogeologiche dell'area sulla base delle misure dei livelli dell'acqua nei fori di sondaggio opportunamente attrezzati ed attraverso il censimento di eventuali pozzi e sorgenti presenti in zona. Tutti i punti di misura (fori di sondaggio attrezzati e pozzi), oltre ad eventuali scaturigini naturali presenti nell'area e al suo contorno, dovranno essere riportati sulla specifica cartografia tematica (***Carta idrogeologica***).
13. Redazione della ***Carta idrogeologica*** (in alternativa alla ***Carta idrogeologica*** può prodursi una ***Carta dei complessi idrogeologici***) (scala 1:5.000 o maggiore) su base topografica C.T.R..
14. Redazione della ***Carta di microzonazione sismica*** del territorio (scala 1:5.000 o maggiore), elaborata in termini di spettri di accelerazione, della funzione di trasferimento del sito e del coefficiente di amplificazione locale, sulla base dei parametri derivanti dal rilevamento geologico-tecnico, dall'assetto litostratigrafico e sulle indicazioni fornite dalle misure sismiche di microtremore (rapporto di Nakamura), di superficie (SASW, MASW, rifrazione in Onda S non derivata) ed in foro (*down-hole* e *cross-hole*); è altresì possibile impiegare metodologie geofisiche di tipo MAM, RE.MI., FTAN volte alla determinazione delle onde di taglio, con profondità di indagine minima definita sulla base del modello geologico locale; qualora sia noto il piano di posa degli immobili, le profondità delle indagini (ivi comprese le prove down hole o cross hole) sono da intendersi a partire da tale livello. Il numero delle prove è da relazionare con l'estensione delle aree di intervento e con la omogeneità litologica e morfologica dei luoghi.
15. Redazione della ***Carta di sintesi o di suscettività d'uso del territorio*** (detta anche ***Carta della Fattibilità oppure delle penalità ai fini edificatori***) elaborata sulla base dei parametri geologici, morfologici e litologici scaturiti dallo studio e dalle indagini sulla base di una classifica in senso crescente dei terreni in scala minima 1:2.000. Per ogni classe sono ammesse sottoclassi, purché adeguatamente descritte nei loro caratteri peculiari.
16. Raccolta delle elaborazioni condotte a seguito delle indagini *in situ.*
17. Redazione della relazione di sintesi con approfondita descrizione dell'assetto geologico, geomorfologico ed idrogeologico, delle condizioni fisico-meccaniche dei terreni e della RSL.

Indicazioni sulle indagini geognostiche da eseguire per la redazione della relazione geotecnica secondo litologia interessata e complessità geologica del sito.

(La tipologia ed il numero delle indagini da effettuare rimangono a discrezione del professionista in riferimento ai dati in suo possesso relativi ad altri lavori svolti nell'area; in ogni caso dette indagini devono fare riferimento alle indicazioni dettate dalle normative vigenti)

Roccia	Depositi ghiaiosi cementati e/o molto addensati, argilliti	Roccia molto alterata, coperture detritiche, depositi sabbiosi e/o limosi, argillosi compatti	Depositi sabbiosi addensati; limosi ed argillosi da consistenti a mediamente consistenti	Depositi sabbiosi poco addensati, limosi ed argillosi da mediamente consistenti a scarsamente consistenti	Depositi di colmata, limi e sabbie sciolte, argille organiche, torbe, corpi di frana
• Rilievi geomeccanici e su affioramenti rappresentativi del substrato litoide e valutazione dell'indice RMR (e/o altri Q, GSI, ecc.), misure sclerometriche e di scabrezza lungo le pareti delle discontinuità • Sondaggi a carotaggio continuo • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro • Piezometri • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati	• Sondaggi a carotaggio continuo • Prove SPT in foro di sondaggio • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro • Piezometri • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Prove penetrometriche dinamiche • Ricostruzione su base topografica della eventuale presenza di cavità	• Sondaggi a carotaggio continuo • Prove SPT in foro di sondaggio • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro • Piezometri • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Prove penetrometriche dinamiche	• Sondaggi a carotaggio continuo • Prove SPT in foro di sondaggio • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro • Piezometri • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Prove penetrometriche dinamiche	• Sondaggi a carotaggio continuo • Prove SPT in foro di sondaggio • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro • Piezometri • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Prove penetrometriche statiche • Prove penetrometriche dinamiche	• Sondaggi a carotaggio continuo • Prove SPT in foro di sondaggio • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro • Piezometri • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Prove penetrometriche statiche • Prove penetrometriche dinamiche

3.2.8. STANDARD 8
Studio geologico nell'ambito di un piano attuativo

Normativa di riferimento (nazionale)

D.P.R. 380/01
D.M. II.TT. 14.01.2008

Normativa di riferimento (regionale)

DA INSERIRE A CURA DI CIASCUN O.R.

Procedura operativa

1. Localizzazione geografica dell'area oggetto di piano su base cartografica 1:5.000 (Carta Tecnica Regionale) con indicazione del/dei numero/i di elemento (il numero è composto da 6 cifre di cui le prime tre sono relative al Foglio IGMI in scala 1:50.000).
2. Rilevamento geolitologico e/o geomorfologico sull'area.
3. Programmazione ed esecuzione di una campagna di indagini dirette (sondaggi geognostici, prove penetrometriche, ecc.) e indirette (prospezioni geofisiche di superficie e in foro) volta alla caratterizzazione litologica e geometrica del sottosuolo. Il numero di indagini è funzione del numero di indagini preesistenti e della complessità geologica e geomorfologica ma non può prescindere dalla caratterizzazione litostratigrafica minima per ciascuna facies, dall'analisi puntuale in corrispondenza dei settori destinati ad edifici di interesse strategico e dalla predisposizione di strumentazioni di controllo dei livelli freatici, soprattutto in assenza di pozzi o emergenze idriche nell'area. La profondità delle indagini dovrà consentire la ricostruzione di almeno 1 profilo geologico schematico per ogni 50 ettari di superficie con indicazione degli elementi geologico-strutturali rilevati o ipotizzati.
4. Repertorio fotografico con indicazione dei punti di ripresa delle immagini.
5. Redazione della ***Carta geomorfologica*** (scala 1:5.000 o maggiore) su base topografica C.T.R. o piano quotato a curve di livello opportunamente rilevato. Lo strato informativo sarà descritto attraverso linee colorate o poligoni campiti – mai riempimenti solidi – e secondo la simbologia proposta dal Gruppo Nazionale Geografia Fisica e Geomorfologia (1994). Le forme saranno distinte per agente geomorfologico limitatamente a quelle rilevate sul terreno e mediante l'analisi fotointerpretativa (la legenda non dovrà contenere simboli non contenuti in carta).
6. Redazione di ***Profili litologici*** significativi (in corrispondenza dei settori di intervento e con indicazione delle opere) con ubicazione delle indagini in scala quadra e a scala alterata (10:1 della scala quadra sull'asse delle ordinate) su base topografica C.T.R. o piano quotato a curve di livello opportunamente rilevato. Ogni profilo dovrà recare la doppia scala delle ordinate (a destra ed a sinistra) con quote espresse in metri sul livello del mare (m s.l.m.). Ciascun profilo dovrà contenere almeno due indagini geognostiche puntuali (sondaggi , prove penetrometriche statiche o dinamiche continue, ecc.) realizzate in asse al profilo. Gli spessori delle diverse unità litologiche dovranno essere congruenti con i risultati delle indagini dirette. Eventuali indagini proiettate, che potranno essere aggiunte a quelle eseguite lungo la traccia di profilo, dovranno essere indicate con diverso cromatismo/simbolo a partire dalla loro reale quota di esecuzione.
7. Determinazione delle caratteristiche idrogeologiche dell'area sulla base delle misure dei livelli dell'acqua nei fori di sondaggio opportunamente attrezzati ed attraverso il censimento di eventuali pozzi e sorgenti presenti in zona. Tutti i punti di misura (fori di sondaggio attrezzati e pozzi), oltre ad eventuali scaturigini naturali presenti nell'area e al suo contorno, dovranno essere riportati sulla specifica cartografia tematica (***Carta idrogeologica***).

8. Redazione della ***Carta idrogeologica*** (in alternativa alla ***Carta idrogeologica*** può prodursi una ***Carta dei complessi idrogeologici***) (scala 1:5.000 o maggiore) su base topografica C.T.R..
9. Redazione della ***Carta di microzonazione sismica*** del territorio (scala 1:5.000 o maggiore), elaborata in termini di spettri di accelerazione, della funzione di trasferimento del sito e del coefficiente di amplificazione locale, sulla base dei parametri derivanti dal rilevamento geologico-tecnico, dall'assetto litostratigrafico e sulle indicazioni fornite dalle misure sismiche di microtremore (rapporto di Nakamura), di superficie (SASW, MASW, rifrazione in Onda S non derivata) ed in foro (*down-hole* e *cross-hole*); è altresì possibile impiegare metodologie geofisiche di tipo MAM, RE.MI., FTAN volte alla determinazione delle onde di taglio, con profondità minima definita sulla base del modello geologico locale; qualora sia noto il piano di posa degli immobili le profondità delle indagini (ivi comprese le prove *down-hole* o *cross-hole*) sono da intendersi a partire da tale livello. Il numero delle prove è da relazionare con l'estensione delle aree di intervento e con la omogeneità litologica e morfologica dei luoghi.
10. Redazione della ***Carta di uso del territorio*** (detta anche ***Carta delle penalità ai fini edificatori***) elaborata sulla base dei parametri geologici, morfologici e litologici scaturiti dallo studio e dalle indagini sulla base di una classifica in senso crescente dei terreni in scala minima 1:2.000. Per ogni classe sono ammesse sottoclassi, purché adeguatamente descritte nei loro caratteri peculiari.
11. Raccolta delle elaborazioni condotte a seguito delle indagini *in situ*.
12. Redazione della relazione di sintesi con approfondita descrizione dell'assetto geologico, geomorfologico ed idrogeologico, delle condizioni fisico-meccaniche dei terreni e i fattori di amplificazione sismica locale.

Indicazioni sulle indagini geognostiche da eseguire per la redazione della relazione geotecnica secondo litologia interessata e complessità geologica del sito.

(La tipologia ed il numero delle indagini da effettuare rimangono a discrezione del professionista in riferimento ai dati in suo possesso relativi ad altri lavori svolti nell'area; in ogni caso dette indagini devono fare riferimento alle indicazioni dettate dalle normative vigenti)

Roccia	Depositi ghiaiosi cementati e/o molto addensati, argilliti	Roccia molto alterata, coperture detritiche, depositi sabbiosi e/o limosi, argillosi compatti	Depositi sabbiosi addensati; limosi ed argillosi da consistenti a mediamente consistenti	Depositi sabbiosi poco addensati, limosi ed argillosi da mediamente consistenti a scarsamente consistenti	Depositi di colmata, limi e sabbie sciolte, argille organiche, torbe, corpi di frana
• Rilievi geomeccanici e su affioramenti rappresentativi del substrato litoide e valutazione dell'indice RMR (e/o altri Q, GSI, ecc.), misure sclerometriche e di scabrezza lungo le pareti delle discontinuità • Sondaggi a carotaggio continuo • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro • Piezometri • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati	• Sondaggi a carotaggio continuo • Prove SPT in foro di sondaggio • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro • Piezometri • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Prove penetrometriche dinamiche • Ricostruzione su base topografica della presenza di eventuali cavità	• Sondaggi a carotaggio continuo • Prove SPT in foro di sondaggio • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro • Piezometri • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Prove penetrometriche dinamiche	• Sondaggi a carotaggio continuo • Prove SPT in foro di sondaggio • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro • Piezometri • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Prove penetrometriche dinamiche	• Sondaggi a carotaggio continuo • Prove SPT in foro di sondaggio • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro • Piezometri • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Prove penetrometriche statiche • Prove penetrometriche dinamiche	• Sondaggi a carotaggio continuo • Prove SPT in foro di sondaggio • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro • Piezometri • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Prove penetrometriche statiche • Prove penetrometriche dinamiche

3.2.9. STANDARD 9

Studio geologico riguardante la localizzazione e la realizzazione di una discarica

Normativa di riferimento (comunitaria)

Direttiva 75/442/CEE e s.m. (Dir. 91 /156/CEE, Dir. 91/692/CEE, Dec. 96/350/CE, Dir. 9)
Direttiva 76/403/CEE
Direttiva 78/319/CEE
Direttiva 91/689/CEE
Decisione 94/3/CEE
Direttiva 94/62/CEE
Decisione 94/904/CE
Direttiva 96/61/CE
Direttiva 99/31/CE
Direttiva 2000/76/CE
Decisione 2000/532/CE e s.m. (Decisioni 2001/118/CE, 2001/119/CE)
Decisione 2000/738/CE
WATER FRAMEWORK DIRECTIVE 2000/60/EC
GROUNDWATER DIRECTIVE 2006

Normativa di riferimento (nazionale)

D.P.R. 10.10.1982 n. 915
D.C.I. 27 luglio 1984, disposizioni attuative del D.P.R. 915/82
D.L. 31 agosto 1987 n. 361 convertito dalla L. 29 ottobre 1987 n. 441
D.L. 9 settembre 1988 n. 397 convertito dalla L. 28 dicembre 1988 n. 475
D.M. 16 maggio 1989 n. 185
D.Lgs. 5 febbraio 1997 n. 22 (c.d. decreto Ronchi); abrogato?
D.M. 31 luglio 1997 (e s.i. con D.M. 18 aprile 2000 n. 309)
D.Lgs. 8 novembre 1997 n. 389 (c.d. decreto Ronchi bis)
D.M. 5 febbraio 1998; abrogato?
D.M. 11 marzo 1998 n. 141
D.M. 1 aprile 1998 n. 145
D.M. 1 aprile 1998 n. 148
D.M. 28 aprile 1998 n. 406
D.M. 4 agosto 1998 n. 372
L. 9 dicembre 1998 n. 426 (c.d. decreto Ronchi ter); abrogato?
D.Lgs. 4 agosto 1999 n. 372, attuazione della Dir. 96/61/CE
D.M. 25 ottobre 1999 n. 471; abrogato
D.L. 16 giugno 2001 n. 160 convertito dalla L. 28 luglio 2000 n. 224
L. 4 aprile 2001 n. 93
D.P.R. 380/01
D.M. 11.03.1988
O.P.C.M. 3274/2003
D.Lgs. 3 aprile 2006 n. 152
D.M. II.TT. 14.01.2008
D.M. II.TT. 04.02.2008
D.Lgs 16 gennaio 2008 n. 4

Normativa di riferimento (regionale)

DA INSERIRE A CURA DI CIASCUN O.R.

Procedura operativa

1. Progettazione ed esecuzione di una campagna di indagini dirette e indirette volta alla ricostruzione del modello geologico locale. Il numero di indagini è funzione della complessità geologica e morfologica del sito ma non deve essere inferiore ad 1 prova diretta per 1000 mq di superficie. Durante l'esecuzione dei sondaggi geognostici dovranno essere effettuate prove di permeabilità in foro di sondaggio a diverse profondità, in funzione delle caratteristiche litologiche dei terreni intercettati.
2. Rapporto scritto sulla campagna di indagini geognostiche con grafici ed elaborati specifici.
3. Studio climatologico su base almeno trentennale.
4. Inquadramento geologico ed idrogeologico di area vasta con indicazione delle caratteristiche di permeabilità dei terreni.
5. Ricostruzione di profili geolitologici longitudinali e trasversali in corrispondenza della sagoma dell'impianto.
6. Censimento dei pozzi presenti nell'area e redazione della carta delle zone di rispetto.
7. Ricostruzione delle linee isopieze e dello schema di circolazione nel sottosuolo.
8. Modello idrogeologico del sottosuolo.
9. Indicazione degli interventi necessari al miglioramento delle caratteristiche di permeabilità dei terreni.
10. Indicazione delle opere utili alla protezione delle falde idriche e dei versanti.
11. Eventuale analisi di rischio sanitario e ambientale.
12. Redazione della relazione di sintesi con cartografia del potenziale utilizzo ai fini della realizzazione di un impianto.

Elaborati

15. Analisi della Cartografia tematica dell'urbanizzazione e delle previsioni urbanistiche in scala minima 1:5.000 su base topografica C.T.R.
16. Analisi della Cartografia dei vincoli esistenti (idrogeologico, da Piano Straordinario o Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, da strumento urbanistico) o in iter di adozione (Proposte di PSAI) nonché degli studi a carattere territoriale esistenti su base topografica C.T.R. in scala 1:5.000.
17. Analisi della Cartografia dei vincoli di carattere ambientale (parchi, riserve, vincoli paesaggistici, vincoli forestali) in scala minima 1:5.000 su base topografica C.T.R.
18. Analisi della Cartografia del rischio idrogeologico ai sensi della D.L. 180/98 e successive modificazioni con indicazione di eventuali norme di salvaguardia adottate in scala minima 1:5.000 su base topografica C.T.R.
19. Carta delle acclività in scala minima 1:5.000 su base topografica C.T.R.
20. Carta idrogeologica con indicazione dei punti di captazione di acque ad uso idropotabile e/o destinate al consumo umano, schematizzazione degli acquiferi e relative area di criticità in scala minima 1:5.000 su base topografica C.T.R.

Indicazioni sulle indagini geognostiche da eseguire per la redazione della relazione geotecnica secondo litologia interessata e complessità geologica del sito.

(La tipologia ed il numero delle indagini da effettuare rimangono a discrezione del professionista in riferimento ai dati in suo possesso relativi ad altri lavori svolti nell'area; in ogni caso dette indagini devono fare riferimento alle indicazioni dettate dalle normative vigenti)

Roccia	Depositi ghiaiosi cementati e/o molto addensati, argilliti	Roccia molto alterata, coperture detritiche, depositi sabbiosi e/o limosi, argillosi compatti	Depositi sabbiosi addensati; limosi ed argillosi da consistenti a mediamente consistenti	Depositi sabbiosi poco addensati, limosi ed argillosi da mediamente consistenti a scarsamente consistenti	Depositi di colmata, limi e sabbie sciolte, argille organiche, torbe, corpi di frana
Indagini in situ	• Pozzetti esplorativi, trincee • Sondaggi a carotaggio continuo • Prove SPT in foro di sondaggio • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro • Sondaggi elettrici verticali • Piezometri • Prove penetrometriche dinamiche • Prove con immissione di acqua in pozzetti e/o in fori di sondaggio	• Pozzetti esplorativi, trincee • Sondaggi a carotaggio continuo • Prove SPT in foro di sondaggio • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro • Sondaggi elettrici verticali • Piezometri • Prove penetrometriche dinamiche • Prove con immissione di acqua in pozzetti e/o in fori di sondaggio	• Pozzetti esplorativi, trincee • Sondaggi a carotaggio continuo • Prove SPT in foro di sondaggio • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro • Sondaggi elettrici verticali • Piezometri • Prove penetrometriche dinamiche • Prove con immissione di acqua in pozzetti e/o in fori di sondaggio	• Pozzetti esplorativi, trincee • Sondaggi a carotaggio continuo • Prove SPT in foro di sondaggio • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro • Sondaggi elettrici verticali • Piezometri • Prove penetrometriche e statiche • Prove scissometriche • Prove pressiometriche e dilatometriche • Prove di carico su piastra • Prove con immissione di acqua in pozzetti e/o in fori di sondaggio	• Pozzetti esplorativi, trincee • Sondaggi a carotaggio continuo • Prove SPT in foro di sondaggio • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro • Sondaggi elettrici verticali • Piezometri • Prove penetrometriche statiche • Prove scissometriche • Prove pressiometriche e dilatometriche • Prove di carico su piastra • Prove con immissione di acqua in pozzetti e/o in fori di sondaggio
Prove di laboratorio	• Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati	• Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati	• Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati	• Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati	• Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati

3.2.10. STANDARD 10

Studio geologico riguardante la caratterizzazione di un sito inquinato

Normativa di riferimento (nazionale)

D.L. 05.02.1997 n. 22 e s.m.i. "Attuazione delle direttive 91/159/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE sugli imballaggi ed i rifiuti da imballaggio" (Decreto Ronchi) art. 17 "Interventi di bonifica e ripristino dei siti inquinati" ed art. 18, 19, 20, 21, 22, 30, 51bis abrogato?
Legge 9 dicembre 1998 n. 426 (Bonifiche di interesse nazionale) e s.m.i.;
D.M. 25.10.1999 n.471 (Regolamento); abrogato?
D.Lgs. 3 aprile 2006 n. 152
Linee Guida APAT 2006
D.Lgs 16 gennaio 2008 n. 4

Normativa di riferimento (regionale)

DA INSERIRE A CURA DI CIASCUN O.R.

Procedura operativa

1. Il responsabile del potenziale inquinamento deve avviare una procedura destinata a verificare se sussiste una contaminazione effettiva. In caso di esito positivo della verifica l'interessato deve provvedere alla redazione di uno specifico Progetto di Bonifica; le tipologie di Progetto sono:
   - Progetto di bonifica e ripristino ambientale;
   - Progetto di bonifica con misure di sicurezza e ripristino ambientale;
   - Progetto di messa in sicurezza permanente e ripristino ambientale.

   L'autorizzazione per la realizzazione degli interventi viene concessa sulla base di una procedura che si articola su quattro livelli cui corrispondono altrettanti documenti:
   - Piano della caratterizzazione;
   - Eventuale analisi di rischio;
   - Progetto preliminare;
   - Progetto definitivo. Ogni livello è soggetto ad approvazione tramite concertazione formale (Conferenze di Servizi) tra il proponente del progetto e l'autorità competente (Comune e altri enti preposti).

2. I contenuti dei documenti sono espressamente indicati nella normativa di riferimento. Indicativamente per il Piano della caratterizzazione saranno:
   - Raccolta e sistematizzazione dei dati esistenti;
   - Analisi del contesto geologico e territoriale;
   - Predisposizione del modello concettuale preliminare;
   - Piano di investigazione e di campionamento tramite definizione dei parametri geognostici e chimici d'interesse;
   - Identificazione dello stato qualitativo delle matrici geologico-ambientali.

3. In dettaglio, le norme vigenti prescrivono una serie di indagini per l'investigazione dell'area necessaria a verificarne il potenziale inquinamento.
   Obiettivo delle indagini è la valutazione del grado di inquinamento del sito tenendo come riferimento i valori di concentrazione limite accettabile.

Le analisi sono destinate a definire i seguenti elementi:

- inquadramento territoriale ed urbanistico;
- descrizione del sito, delle strutture e degli impianti presenti o dismessi;
- analisi delle attività svolte nel sito con la descrizione dei cicli di lavorazione;
- ricostruzione geologica ed idrogeologica;
- ubicazione e tipologia delle indagini da svolgere con caratteristiche della strumentazione, sia di tipo diretto (perforazioni, campionamenti suolo, acqua, gas interstiziali) che indiretto (telerilevamento, rilievi geofisici: elettrici, sismici, elettromagnetici, magnetici, georadar, termometrici, metal detection);
- piani di campionamento dell'area considerata;
- modalità di prelievo, conservazione e trasporto dei campioni;
- criteri per il controllo della qualità delle operazioni di campionamento ed analisi;
- elaborazione ed interpretazione dell'insieme dei dati anche con l'ausilio di specifici modelli matematici;
- definizione dei parametri geotecnici;
- esposizione dei risultati dell'indagine;
- redazione del piano della caratterizzazione.

Indicazioni sulle indagini geognostiche da eseguire per la redazione della relazione geotecnica secondo litologia interessata e complessità geologica del sito.

(La tipologia ed il numero delle indagini da effettuare rimangono a discrezione del professionista in riferimento ai dati in suo possesso relativi ad altri lavori svolti nell'area; in ogni caso dette indagini devono fare riferimento alle indicazioni dettate dalle normative vigenti. Di seguito si espone un esempio relativo ad un caso specifico)

Discarica non controllata

Indagine storica

Rientra tra le indagini richieste dal Piano di Caratterizzazione secondo D. Lgs. 152/2006 e smi. Prevede la raccolta e sistematizzazione dei dati esistenti riguardanti il sito inquinato, comprese tutte le analisi già eseguite sul sito al fine di:

- effettuare la ricostruzione storica delle attività svolte in passato e della loro criticità;
- determinare tipo e volume di materiali depositati;
- definire la loro composizione;
- definire la condizione ambientale all'inizio dell'esercizio della discarica.

Indagine geofisica

È una prima fondamentale fase di una campagna di indagini che consente di ottenere una descrizione d'insieme su tipologie e ampiezza del deposito di rifiuti e delle zone di accumulo di percolato . solitamente le discariche contengono materiali con alte conducibilità elettriche, alte suscettività magnetiche e basse velocità sismiche tali da renderne leggibile la presenza con le prospezioni geofisiche.
Il substrato della discarica e le geomembrane sono caratterizzati da valori di conducibilità piuttosto bassi tali per cui i test geofisici consentono di delimitare i limiti della discarica, rappresentati dal terreno naturale e dalle eventuali opere di impermeabilizzazione.
La tipica eterogeneità dei rifiuti rende necessario adottare un approccio multi-metodologico tramite metodi elettrici (tomografia elettrica, indagine geoelettrica), elettromagnetici, sismici.

Indagini geognostiche

Seguono le indagini geofisiche e prevedono la realizzazione di indagini dirette per verificare i risultati geofisici:

- completare la ricostruzione della morfologia della formazione di base;
- effettuare il prelievo di campioni di rifiuto per le analisi chimico-analitiche in laboratorio utilizzare i sondaggi come piezometri per la misura dei livelli della falda, per la realizzazione delle prove di pompaggio, il prelievo del percolato e le analisi sul biogas;
- definire i parametri utili alle verifiche di stabilità del corpo di discarica e dei versanti ad essa afferenti.

Vengono eseguite con escavatori e/o con sonde meccaniche. Le indagini devono essere precedute da un rilievo planialtimetrico di dettaglio.

Prove geotecniche

Consistono nelle analisi di laboratorio sui materiali prelevati nei sondaggi per verificare le caratteristiche geotecniche dei rifiuti e della formazione di base e analizzare le condizioni di stabilità della discarica, nella fattispecie.

Descrizione del campione

- Determinazione delle proprietà indice dei materiali.
- Classificazioni prove di resistenza a compressione e a taglio.
- Prove di compressibilità edometrica per la determinazione dei parametri di compressibilità, consolidazione e permeabilità.
- etc.

Test idrogeologici

Permettono di determinare le proprietà idrogeologiche dei rifiuti e della formazione di base e la dinamica dei fluidi presenti allo scopo di evidenziare le anomalie nella circolazione del percolato e di verificare l'efficienza dei sistemi di drenaggio; in particolare vengono determinati: la conducibilità idraulica k, il coefficiente di immagazzinamento S e la porosità efficace. La determinazione dei parametri caratteristici (in particolare la conducibilità idraulica k) è di fondamentale importanza per la progettazione del drenaggio dell'ammasso e del sistema di estrazione del percolato nel caso di discariche in costruzione, oppure per la realizzazione di interventi mirati alla messa in sicurezza di impianti già esistenti. I test che possono adattarsi alla caratterizzazione idrogeologica dei rifiuti possono essere:

1. *Prove di pompaggio:* l'interpretazione dei risultati nel caso di discariche con barriere idrauliche è effettuata ipotizzando che il rifiuto saturo si comporti come un acquifero la cui base è la barriera di contenimento di fondo o la formazione sottostante e come condizione al contorno le barriere di contenimento laterali (laddove esistenti).
2. *Slug tests:* è un metodo di precisione minore, ma l'unico in grado di fornire qualche risultato nel caso di materiali poco permeabili.

Caratterizzazione dei rifiuti

Vengono effettuate su campioni di materiale estratto mediante scavo aperto (qualche centinaia di kg di rifiuto) o carotaggio e prelevato a diverse profondità nel corpo discarica per determinare:

- la composizione merceologica dei rifiuti depositati e della qualità delle varie frazioni;
- lo stato di degradazione della frazione organica dei rifiuti e della presenza di componenti ancora lisciviabili per determinare il rischio ambientale ad esse collegato; ricostruzione del profilo di umidità e temperatura lungo la profondità della discarica.

Test sui rifiuti

Vengono effettuati sui rifiuti prelevati e solitamente prevedono la suddivisione dei rifiuti per classi merceologiche (materiali cellulosici, materie plastiche, materiali metallici, tessili, materiale organico, inerti) e, su ciascuna classe, secondo classi granulometriche.
Su un campione di rifiuto opportunamente selezionato vengono effettuati i seguenti test:

1. per determinare l'umidità;
2. per determinare la velocità e le modalità di decomposizione della sostanza organica;
3. per determinare i composti volatili, indice del contenuto di sostanza organica;
4. test respirometrici per determinare i quantitativi di sostanza organica biodegradabile;
5. test anaerobici di produzione di biogas (test di fermentazione) per determinare la quantità di biogas che i rifiuti potrebbero produrre nell'ambiente anaerobico della discarica;
6. test di cessione o "leaching test" per determinare la capacità di rilascio delle varie sostanze da parte dei rifiuti per effetto della percolazione delle acque meteoriche. Possono essere effettuati con acqua distillata per la determinazione di COD, BOD5 e di alcuni tra i metalli più significativi;oppure con acqua acidulata con acido acetico per la determinazione dei metalli.

Indagine sul percolato

Permette di definire le caratteristiche chimiche del percolato e valutare il tipo di trattamento necessario. I punti dei campionamenti dovranno essere scelti ed eseguiti in modo da rappresentare i diversi settori della discarica, quindi sia presso pozzi ricavati in fase di sondaggio, sia da pozzi già esistenti per la raccolta del percolato, sia da eventuali fuoriuscite incontrollate lungo i fianchi aperti.
I parametri chimici e chimico-fisici da analizzare saranno: temperatura; pH; conducibilità; potenziale redox; alcalinità; COD, BOD, TOC; acidi volatili; N ammoniacale, N nitroso, N nitrico, N organico; solfati e cloruri; solidi sospesi e solidi disciolti, totali e volatili; ferro; metalli pesanti (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn).

Indagine sul biogas

Permette di definire l'entità delle emissioni gassose dalla discarica e la loro qualità, di individuare i principali punti di emissione e di verificare l'efficienza dei sistemi di captazione e trasporto presenti, di determinare i rischi connessi alla eventuale presenza di biogas, soprattutto ai fini di un intervento di rimozione dei rifiuti. Per la determinazione qualitativa vengono prelevati campioni di biogas sottoposti ad analisi di laboratorio o si fa uso di strumentazione mobile (analizzatore ad infrarossi portatile, LFG20) con misurazioni nei pozzetti esistenti o appositamente realizzati.

3.2.11. STANDARD 11

Studio idrogeologico per il prelievo e l'utilizzo di acque sotterranee

Normativa di riferimento (comunitaria)

WATER FRAMEWORK DIRECTIVE 2000/60/EC
GROUNDWATER DIRECTIVE 2006

Normativa di riferimento (nazionale)

R.D. 11.12.1933 n. 1771
D.Lgs. 3 aprile 2006 n. 152

Normativa di riferimento (regionale)

DA INSERIRE A CURA DI CIASCUN O.R.

Procedura operativa

1. Localizzazione dell'area su cartografia CTR.
2. Rilevamento geolitologico e strutturale dell'area in esame.
3. Censimento di sorgenti con misure di portata e di pozzi, misura dei parametri chimico-fisici delle acque.
4. Definizione preliminare del modello concettuale idrogeologico (condizioni al contorno degli acquiferi).
5. Elaborazione dati pluviometrici e termometrici, possibilmente per un periodo non inferiore ad un trentennio.
6. Determinazione dei coefficienti di infiltrazione e/o dell'infiltrazione efficace e dei parametri caratteristici degli acquiferi (conducibilità, porosità efficace, etc.) e della falda (direzione di flusso, gradiente, etc.).
7. Programmazione indagini dirette ed indirette per la ricostruzione litostratigrafica dell'area in numero tale da rendere possibile eseguire profili geolitologici longitudinali e trasversali sufficienti a definire la geometria degli acquiferi.
8. Programmazione, esecuzione e interpretazione di misure livelli piezometrici e di prove di pompaggio in pozzo o in sorgente per la determinazione dei parametri idraulici dell'acquifero; eventuale rappresentazione tramite carte idrogeologiche.
9. Formulazione bilancio idrologico e bilancio idrogeologico per la valutazione delle risorse idriche rinnovabili e delle riserve.
10. Elaborazione del modello concettuale idrogeologico definitivo. – bilancio idrologico – bilancio idrogeologico.
11. Individuazione dei fronti di richiamo e della portata critica di prelievo.
12. Eventuale modellazione analitica e/o numerica per verifica rischi interferenza con altri contesti sensibili (captazioni esistenti, risorgive, etc.).
13. Indicazione degli elementi potenziali di inquinamento delle falde idriche.
14. Redazione di una relazione di sintesi contenente eventuali indicazioni sul tipo di opere da realizzare e sulla disponibilità della risorsa.

Elaborati

15. Inquadramento dell'area di studio su base cartografica 1:5.000 (Carta Tecnica Regionale) con indicazione del/dei numero/i dell'elemento/i.
16. Carta idrogeologica su base cartografica 1:5.000 (Carta Tecnica Regionale).

In caso di ricerca o sfruttamento, sarà necessario verificare la documentazione chiesta secondo linee guida degli Enti Locali.

3.2.12. STANDARD 12

Studio idrogeologico per la delimitazione delle Aree di salvaguardia delle risorse idriche ad uso potabile

Normativa di riferimento (nazionale)

R.D. 14.08.1920 n. 1285
R.D. 11.12.1933 n. 1771
L. 05.02.1992 n. 102
D.Lgs. 12.07.1993 n 275
L. 05.01.1994 n. 36
D.P.R. 18.02.1999
L. 30.04.1999 n. 136 – art. 28
L. 17.08.1999 n. 290 – art. 2
D.Lgs. 3 aprile 2006 n. 152

Normativa di riferimento (regionale)

DA INSERIRE A CURA DI CIASCUN O.R.

Procedura operativa

Relazione geologica

1. Inquadramento geologico, geomorfologico e idrogeologico regionale. Rilevamento geologico di dettaglio di un intorno sufficientemente ampia rispetto al sito di studio.
2. Programmazione e supervisione di eventuali indagini geognostiche con un dettaglio adeguato agli scopi prefissati.
3. Elaborazione sezioni geologiche.
4. Indagine di dettaglio.
5. Analisi geomorfologica.
6. Vincoli territoriali.

Relazione idrogeologica

1. Definizione caratteristiche idrogeologiche della zona di interesse: tipologia degli acquiferi, modalità di alimentazione, condizioni di flusso e di uso delle falde e/o delle acque superficiali, bilancio idrologico, aree e entità della ricarica, rapporti delle falde con i corpi idrici superficiali, interconnessioni naturali e indotte tra gli acquiferi, caratteristiche tecniche dell'opera di captazione, caratteristiche idrogeologiche ed idrodinamiche dell'acquifero e della falda, caratteristiche litologiche e idrogeologiche dell'insaturo
2. Elaborazione sezioni idrogeologiche
3. caratterizzazione facies idrochimica
4. Programmazione, esecuzione e interpretazione di misure livelli piezometrici e di prove di pompaggio in pozzo o in sorgente per la determinazione dei parametri idraulici dell'acquifero; eventuale rappresentazione tramite carte idrogeologiche.
5. Formulazione bilancio idrologico e bilancio idrogeologico per la valutazione delle risorse idriche rinnovabili e delle riserve.
6. Elaborazione del modello concettuale idrogeologico definitivo.

7. Individuazione dei fronti di richiamo e della portata critica di prelievo.
8. Indicazione degli elementi potenziali di inquinamento delle falde acquifere.
9. Analisi di vulnerabilità
10. Delimitazione delle aree di salvaguardia:
    - Zona di tutela assoluta;
    - Zona di rispetto con criterio cronologico tramite modellazione analitica e/o numerica per verifica rischi interferenza con altri contesti sensibili (captazioni esistenti, risorgive, etc.);
    - Zona di protezione.

3.2.13. STANDARD 13

Studio geologico nell'ambito di un progetto per attività estrattiva o per l'ampliamento di un sito già adibito ad attività estrattiva

Normativa di riferimento (nazionale)

R.D. 29 luglio 1927 n. 1443
D.P.R. 9 aprile 1959 n. 128
D.P.R. 18 aprile 1994 n. 382
D.Lgs. 25 novembre 1996 n. 624
R.D. 30 dicembre 1923 n. 3267
R.D. 16 maggio 1926 n. 1126
D.P.R. 19 marzo 1956 n. 302
D.P.R. 19 marzo 1956 n. 303 (Aggiornato con le modifiche apportate dal D.Lgs. 19 settembre 1994, n. 626; dal D.Lgs. 19 marzo 1996, n. 242 e dal D.Lgs. 2 febbraio 2002, n. 25)
D.P.R. 27 aprile 1955 n. 547
D.P.R. 24 maggio 1988 n. 203
D.Lgs. 15 agosto 1991 n. 277
D.Lgs. 19 settembre 1994 n. 626
D.Lgs. 29 ottobre 1999 n. 490
D.P.R. 22 ottobre 2001 n. 462

Normativa di riferimento (regionale)

DA INSERIRE A CURA DI CIASCUN O.R.

Procedura operativa

1. Localizzazione dell'area di studio su base cartografica 1:5.000 (Carta Tecnica Regionale) con indicazione del/dei numero/i dell'elemento/i (il numero è composto da 6 cifre di cui le prime tre sono relative al Foglio IGMI in scala 1:50.000).
2. Rilevamento geologico, geomorfologico e strutturale dell'area in esame.
3. Redazione delle seguenti carte tematiche in scala minima 1:2.000 su base topografica C.T.R. o piano quotato a curve di livello opportunamente rilevato:
   - geomorfolitologica;
   - idrogeologica;
   - dell'uso attuale del suolo;
   - dei vincoli gravanti sul territorio oggetto di studio.
4. Programmazione ed esecuzione di una campagna di indagini dirette (sondaggi geognostici, prospezioni geofisiche di superficie) volta alla determinazione degli spessori e della consistenza delle coperture nonché alla definizione della natura litologica e dello stato meccanico dei terreni oggetto di escavazione. Il numero di indagini dirette è funzione del numero di indagini preesistenti e della complessità geologica e geomorfologica ma non può prescindere dalla caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica minima per ciascuna facies litologica, dall'analisi puntuale in corrispondenza dei settori destinati agli interventi previsti per lo svolgimento dell'attività (aree di coltivazione, di deposito, di discarica, impianti di lavorazione, strade di accesso, piste, rampe, edifici al servizio dell'attività ecc.). La profondità delle indagini dovrà consentire la ricostruzione di almeno 1 profilo geologico schematico per ogni 10 ettari di superficie con indicazione degli elementi geologico-strutturali rilevati o ipotizzati;

5. Rilievo geomeccanico eseguito secondo le procedure ISRM da restituire in uno specifico elaborato testuale (relazione geomeccanica); in esso dovranno essere evidenziate le caratteristiche geometriche dei sistemi di discontinuità rilevati, la tipologia di giunto, la rugosità e la loro persistenza, le caratteristiche del materiale di riempimento, la presenza d'acqua nonché le caratteristiche di resistenza uniassiale della roccia (mediante martello di Schmidt). Il documento dovrà essere corredato da schede di rilevamento, immagini e *sketch,* ciclografiche modali, diagrammi polari puntuali ed interpolati. Ciascuna stazione di rilevamento dovrà essere georiferita su base CTR. Il documento dovrà essere completato da una ricostruzione assonometrica o prospettica del corpo di cava (anche attraverso tecniche di *rendering* digitale) con posizionamento spaziale dei domini strutturali.
6. Repertorio fotografico a colori d'insieme e di dettaglio dell'area di intervento con indicazione in planimetria dei punti di ripresa delle immagini.
7. Redazione di profili geolitologici significativi (il numero di profili è definito sulla base delle indicazioni contenute nel precedente punto 4) con ubicazione delle indagini in scala quadra minima 1:2.000 su base topografica C.T.R. o piano quotato a curve di livello opportunamente rilevato.
8. relazione di sintesi sullo stato dei luoghi attuale, sulle caratteristiche geomorfologiche, paesaggistiche, idrogeologiche e litologiche dell'area con indicazioni circa l'assetto finale dell'area, con particolare riferimento alle dimensioni delle gradonature ed all'angolo di riposo della coltre vegetale di ripristino, ovvero di ogni eventuale opera finalizzata al ripristino ambientale ed al recupero delle caratteristiche paesaggistiche.
9. Elencazione, anche in forma sintetica, di tutti gli obblighi e delle prescrizioni da osservare in relazione alla coltivazione della cava ed al successivo ripristino sotto il profilo geologico ed ambientale.

Nei casi di procedura V.I.A. si rimanda alle norme che regolano la procedura d'impatto ambientale. In particolare andranno distinti i singoli elaborati per il piano di coltivazione ed il ripristino ambientale; quest'ultimo dovrà espressamente prevedere indicazioni riguardanti:

- il modellamento dei fronti di cava secondo gradoni la cui altezza e pendenza siano tali da consentire un opportuno raccordo delle superfici di nuova formazione con quelle dei terreni circostanti;
- la sistemazione idrogeologica dell'area atta ad evitare frane o fenomenologie erosive spinte (ruscellamento diffuso o per rivoli) nonché le misure di protezione dei corpi idrici suscettibili di inquinamento;
- la ricostruzione dei caratteri generali ambientali e naturalistici dell'area, in armonia con la situazione preesistente e circostante, normalmente attuata mediante il riporto di un congruo strato di terreno di coltivo o vegetale e la semina o la piantumazione di specie vegetali autoctone.

Nei casi di progettazione integrale di un'attività estrattiva, suo ampliamento, ripristino ambientale, il presente standard di riferimento è da integrarsi con quanto disposto dalla normativa vigente in materia di *Miniere, risorse geotermiche, cave e torbiere, acque minerali e termali, uso delle risorse idriche.*

3.2.14. STANDARD 14

Studio componente suolo-sottosuolo e ambiente idrico in procedure SIA, VIA, VAS e Valutazioni di Incidenza

Normativa di riferimento (comunitaria) - V.I.A.

DIR. 85/337/CEE
Dir. 96/61/CE sulla prevenzione e la riduzione integrate dell'inquinamento (IPPC)
Dir. 97/11/CE
Dir. 2001/42/CE

Normativa di riferimento (nazionale) – V.I.A.

Legge 8 luglio 1986, n. 349
DPCM 10/8/88, n. 377
DPCM 27/12/88
DPR 27/4/92
DPR 12/4/96
DPR 03/09/99, n. 302
D.Lgs. 20 agosto 2002, n. 190
D.Lgs. 22/01/2004
Legge 18 aprile 2005, n. 62
D.Lgs. 17 agosto 2005, n. 189
D.Lgs. 3 aprile 2006 n. 152
D.Lgs 16 gennaio 2008 n. 4

Normativa di riferimento (regionale) – V.I.A.

DA INSERIRE A CURA DI CIASCUN O.R.

Normativa di riferimento (comunitaria) – V.A.S.

Direttiva 2001/42/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 27 giugno 2001
Attuazione della Direttiva 2001/42/CE

Normativa di riferimento (nazionale) – V.A.S.

Legge 18 aprile 2005, n. 62
D.Lgs 16 gennaio 2008 n. 4

Normativa di riferimento (regionale) – V.A.S.

DA INSERIRE A CURA DI CIASCUN O.R.

Procedura operativa

QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE

- Descrizione della metodologia di analisi utilizzata

AMBIENTE IDRICO (analisi della componente)

Idrologia di superficie

- Identificazione dei bacini idrografici e descrizione delle caratteristiche della rete di deflusso superficiale.
- Raccolta ed interpretazione dei dati climatici.

- Valutazione delle portate di piena, valutazione del rischio idraulico e del dissesto idrogeologico (P.A.I. - I.F.F.I.).
- Valutazione delle caratteristiche qualitative delle acque superficiali.
- Redazione carta dell'ambiente idrico superficiale (1:25.000).

Idrogeologia

- Ricostruzione dell'assetto idrogeologico.
- Identificazione e localizzazione dei punti d'acqua.
- Valutazione delle caratteristiche qualitative delle acque di falda.
- Costruzione della vulnerabilità idrogeologica.
- Redazione carta idrogeologica (1:10.000).
- Redazione carta della vulnerabilità idrogeologica (1:10.000).

SUOLO E SOTTOSUOLO (analisi della componente)

- Descrizione dei caratteri morfologici.
- Identificazione dei dissesti potenziali e/o in atto (P.A.I. - I.F.F.I.).
- Analisi delle caratteristiche litologiche.
- Valutazione delle caratteristiche strutturali.
- Analisi della sismicità dell'area.
- Identificazione dell'uso attuale del suolo.
- Redazione carta geologica e geomorfologica (1:10.000).
- Redazione carta macrozonazione sismica (1:25.000/1:10.000).
- Analisi delle caratteristiche pedologiche.
- Redazione carta pedologica (1:10.000).
- Descrizione delle criticità rilevate, valutazione delle interferenze indotte dall'opera ed analisi dei possibili interventi di mitigazione previsti.
- Redazione carta criticità e mitigazioni (1:10.000).

3.2.15. STANDARD 15

Studio idrologico ed idrogeologico per realizzazione laghetti collinari

Normativa di riferimento (nazionale)

D.P.R. 380/2001
D.M. 11/03/1988

Normativa di riferimento (regionale)

DA INSERIRE A CURA DI CIASCUN O.R.

Procedura operativa

1. Localizzazione su CTR (1:5.000/1:10.000) con indicazione del numero della sezione.
2. Rilievo plano-altimetrico dell'area di interesse e di un suo intorno di ampiezza significativa.
3. Rilevamento geologico-strutturale, geomorfologico ed idrogeologico dell'area.
4. Bilancio idrologico ed alimentazione del bacino.
5. Redazione di carta geologica con elementi morfologici (1:2.000/1:5.000).
6. Redazione di carta idrogeologica (1:2.000/1:5.000).
7. Esecuzione campagna di indagini dirette (sondaggi geognostici, prove penetrometriche..) e/o indirette (prospezione geofisiche).
8. Definizione dei parametri geotecnici.
9. Documentazione fotografica con indicazione dei punti di ripresa.
10. Ricostruzione del modello geologico corredato da sezioni geologiche e geotecniche con indicazione delle indagini e prove eseguite (1:1.000/1:2.000).
11. Redazione di planimetria idraulica con interventi sistemazione fossi e impluvi (1:200).
12. Redazione di relazione di sintesi sullo stato attuale dei luoghi, caratteristiche morfologiche, paesaggistiche, idrogeologiche e litotecniche dell'area con indicazioni sulle caratteristiche dello sbarramento, le modalità costruttive, valutazioni inerenti scavi e rilevati da realizzare, valutazioni della velocità di interrimento e verifiche di stabilità del rilevato di tenuta.

Indicazioni sulle indagini geognostiche da eseguire per la redazione della relazione geotecnica secondo litologia interessata e complessità geologica del sito.

(La tipologia ed il numero delle indagini da effettuare rimangono a discrezione del professionista in riferimento ai dati in suo possesso relativi ad altri lavori svolti nell'area; in ogni caso dette indagini devono fare riferimento alle indicazioni dettate dalle normative vigenti)

Roccia	**Depositi ghiaiosi cementati e/o molto addensati, argilliti**	**Roccia molto alterata, coperture detritiche, depositi sabbiosi e/o limosi, argillosi compatti**	**Depositi sabbiosi addensati; limosi ed argillosi da consistenti a mediamente consistenti**	**Depositi sabbiosi poco addensati, limosi ed argillosi da mediamente consistenti a scarsamente consistenti**	**Depositi di colmata, limi e sabbie sciolte, argille organiche, torbe, corpi di frana**
• Rilievi geomeccanici e su affioramenti rappresentativi del substrato litoide e valutazione dell'indice RMR (e/o altri Q, GSI, ecc.), misure sclerometriche e di scabrezza lungo le pareti delle discontinuità • Sondaggi a carotaggio continuo • Prospezioni sismiche a rifrazione • Sondaggi elettrici verticali • Piezometri • Prove Lugeon	• Pozzetti esplorativi, trincee • Sondaggi a carotaggio continuo • Prospezioni sismiche a rifrazione • Sondaggi elettrici verticali • Piezometri • Prove di immissione di acqua in pozzetti e/o in fori di sondaggio	• Pozzetti esplorativi, trincee • Sondaggi a carotaggio continuo • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Prospezioni sismiche a rifrazione • Sondaggi elettrici verticali • Piezometri • Prove di immissione di acqua in pozzetti e/o in fori di sondaggio	• Pozzetti esplorativi, trincee • Sondaggi a carotaggio continuo • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Prospezioni sismiche a rifrazione • Sondaggi elettrici verticali • Piezometri • Prove di immissione di acqua in pozzetti e/o in fori di sondaggio	• Pozzetti esplorativi, trincee • Sondaggi a carotaggio continuo • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Prospezioni sismiche a rifrazione • Sondaggi elettrici verticali • Piezometri • Prove di immissione di acqua in pozzetti e/o in fori di sondaggio	• Pozzetti esplorativi, trincee • Sondaggi a carotaggio continuo • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Prospezioni sismiche a rifrazione • Sondaggi elettrici verticali • Piezometri • Prove di immissione di acqua in pozzetti e/o in fori di sondaggio

3.2.16. STANDARD 16
Studi in area urbana

Normativa di riferimento (nazionale)
D.M. II.TT. 14.01.2008

Normativa di riferimento (regionale)
DA INSERIRE A CURA DI CIASCUN O.R.

Procedura operativa

1. Localizzazione dell'area di studio su CTR (1:5.000/1:10.000).
2. Ricerca di cartografia geologica e topografica storica, documentazione fotografica storica.
3. Definizione degli spessori delle coltri di riporto antropico, analisi sulla presenza di circolazioni idriche nei riporti.
4. Ricostruzione evoluzione del paesaggio urbano con particolare riferimento alle modificazioni morfologiche quali scavi, sbancamenti, riporti in particolare connessi alla ricostruzione post bellica.
5. Descrizione delle interazioni con elementi archeologici affioranti e/o sepolti (carte archeologiche).
6. Indagini sulle strutture murarie (carotaggi su strutture e dati storico-archeologici) con particolare riferimento alle tipologie fondali ed ai materiali utilizzati.
7. Redazione di carta con ubicazione indagini geognostiche (1:500-1:1000).
8. Ricostruzione del modello geologico con stesura di sezioni litostratigrafiche di dettaglio (scale non inferiori a 1:1.000).
9. Relazione di sintesi con descrizione della evoluzione geomorfologica e urbanistica del sito.

Indicazioni sulle indagini geognostiche da eseguire per la redazione della relazione geotecnica secondo litologia interessata e complessità geologica del sito.

(La tipologia ed il numero delle indagini da effettuare rimangono a discrezione del professionista in riferimento ai dati in suo possesso relativi ad altri lavori svolti nell'area; in ogni caso dette indagini devono fare riferimento alle indicazioni dettate dalle normative vigenti)

Roccia	Depositi ghiaiosi cementati e/o molto addensati, argilliti	Roccia molto alterata, coperture detritiche, depositi sabbiosi e/o limosi, argillosi compatti	Depositi sabbiosi addensati; limosi ed argillosi da consistenti a mediamente consistenti	Depositi sabbiosi poco addensati, limosi ed argillosi da mediamente consistenti a scarsamente consistenti	Depositi di colmata, limi e sabbie sciolte, argille organiche, torbe, corpi di frana
• Rilievi geomeccanici e su affioramenti rappresentativi del substrato litoide e valutazione dell'indice RMR (e/o altri Q, GSI, ecc.), misure sclerometriche e di scabrezza lungo le pareti delle discontinuità • Sondaggi a carotaggio continuo • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro • Piezometri • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Video endoscopie • Ricostruzione su base topografica dell'andamento delle cavità	• Pozzetti esplorativi, trincee • Sondaggi a carotaggio continuo • Prove SPT in foro di sondaggio • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro • Piezometri • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Prove penetrometriche dinamiche • Ricostruzione su base topografica di eventuali presenze di cavità sotterranee	• Pozzetti esplorativi, trincee • Sondaggi a carotaggio continuo • Prove SPT in foro di sondaggio • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro • Piezometri • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Prove penetrometriche dinamiche	• Pozzetti esplorativi, trincee • Sondaggi a carotaggio continuo • Prove SPT in foro di sondaggio • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro • Piezometri • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Prove penetrometriche dinamiche	• Pozzetti esplorativi, trincee • Sondaggi a carotaggio continuo • Prove SPT in foro di sondaggio • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro • Piezometri • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Prove penetrometriche statiche	• Pozzetti esplorativi, trincee • Sondaggi a carotaggio continuo • Prove SPT in foro di sondaggio • Prospezioni sismiche a rifrazione • Misure sismiche in foro • Piezometri • Prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati • Prove penetrometriche statiche

3.2.17. STANDARD 17

Individuazione cavità sotterranee di origine antropica

Normativa di riferimento (nazionale)

D.M. II.TT. 14.01.2008

Normativa di riferimento (regionale)

DA INSERIRE A CURA DI CIASCUN O.R.

Procedura operativa

1. Localizzazione su CTR (1:5.000/1:10.000).
2. Ricerca di cartografia geologica e topografica storica, documentazione fotografica storica.
3. Ricerca di fenomeni storici di crollo.
4. Individuazione delle tipologie e dei terreni interessati dalle cavità (catacombe, cave, cunicoli idraulici, cisterne, ecc.).
5. Campagna di indagini geognostiche (carotaggi a distruzione di nucleo e ispezioni televisive in foro per la ricostruzione plano-altimetrica delle cavità, indagini geofisiche con tecniche gravimetriche e/o radar, uso di traccianti in cavità percorse dall'acqua).
6. Analisi delle condizioni di stabilità delle cavità su basi geomorfologiche ed evolutive delle cavità (dissesti, distacchi, analisi dei detriti franati, ecc.).
7. Interazioni fra le cavità e le infrastrutture di superficie (fabbricati, strade, reti di sottoservizi, ecc.).
8. Carta con ubicazione indagini geognostiche e (1:500-1:1000).
9. Ricostruzione del modello geologico con sezioni litostratigrafiche di dettaglio (1:200-1:500).
10. Relazione di sintesi con descrizione della rete caveale, della sua evoluzione geomorfologica e delle criticità rilevate.

Indicazioni sulle indagini geognostiche da eseguire per la redazione della relazione geotecnica secondo litologia interessata e complessità geologica del sito.

(La tipologia ed il numero delle indagini da effettuare rimangono a discrezione del professionista in riferimento ai dati in suo possesso relativi ad altri lavori svolti nell'area; in ogni caso dette indagini devono fare riferimento alle indicazioni dettate dalle normative vigenti)

Roccia	Depositi ghiaiosi cementati e/o molto addensati, argilliti	Roccia molto alterata, coperture detritiche, depositi sabbiosi e/o limosi, argillosi compatti	Depositi sabbiosi addensati; limosi ed argillosi da consistenti a mediamente consistenti	Depositi sabbiosi poco addensati, limosi ed argillosi da mediamente consistenti a scarsamente consistenti	Depositi di colmata, limi e sabbie sciolte, argille organiche, torbe, corpi di frana
• Sondaggi geognostici a rotazione e carotaggio continuo • Sondaggi geognostici guidati (indagine televisiva in foro e indagine speleologica) • Indagini con metodo gravimetrico • Indagini con metodi geoelettrici • Indagini con metodi sismici • Indagini con metodo magnetico • Indagini con metodo GPR (Ground Penetrating Radar)	• Sondaggi geognostici a rotazione e carotaggio continuo • Sondaggi geognostici guidati (indagine televisiva in foro e indagine speleologica) • Indagini con metodo gravimetrico • Indagini con metodi geoelettrici • Indagini con metodi sismici • Indagini con metodo magnetico • Indagini con metodo GPR (Ground Penetrating Radar)	• Sondaggi geognostici a rotazione e carotaggio continuo • Sondaggi geognostici guidati (indagine televisiva in foro e indagine speleologica) • Indagini con metodo gravimetrico • Indagini con metodi geoelettrici • Indagini con metodi sismici • Indagini con metodo magnetico • Indagini con metodo GPR (Ground Penetrating Radar)	• Sondaggi geognostici a rotazione e carotaggio continuo • Sondaggi geognostici guidati (indagine televisiva in foro e indagine speleologica) • Indagini con metodo gravimetrico • Indagini con metodi geoelettrici • Indagini con metodi sismici • Indagini con metodo magnetico • Indagini con metodo GPR (Ground Penetrating Radar)	• Sondaggi geognostici a rotazione e carotaggio continuo • Sondaggi geognostici guidati (indagine televisiva in foro e indagine speleologica) • Indagini con metodo gravimetrico • Indagini con metodi geoelettrici • Indagini con metodi sismici • Indagini con metodo magnetico • Indagini con metodo GPR (Ground Penetrating Radar)	• Sondaggi geognostici a rotazione e carotaggio continuo • Sondaggi geognostici guidati (indagine televisiva in foro e indagine speleologica) • Indagini con metodo gravimetrico • Indagini con metodi geoelettrici • Indagini con metodi sismici • Indagini con metodo magnetico • Indagini con metodo GPR (Ground Penetrating Radar)

3.2.18. STANDARD 18
Studi geologici nell'ambito della progettazione di aree cimiteriali

Normativa di riferimento (nazionale)

D.P.R. 21.10.75 N. 803
D.P.R. 10.09.90 N. 285

Normativa di riferimento (regionale)

DA INSERIRE A CURA DI CIASCUN O.R.

Procedura operativa

1. Esame ed inquadramento dell'intervento nel contesto dello Strumento Urbanistico vigente (pericolosità e fattibilità);
2. Caratteri della successione litostratigrafica del sito per un ambito areale geologicamente significativo e per una profondità comunque non inferiore all'ambito rientrante nel concetto di "volume significativo" (profondità del terreno entro il quale si esercita l'influenza dell'intervento);
3. Definizione della distribuzione areale dei litotipi, il loro stato di alterazione, fessurazione e degradabilità nonché un primo giudizio qualitativo sulle loro caratteristiche geomeccaniche;
4. Caratteri tettonici generali e geostrutturali di dettaglio ai fini del comportamento fisico meccanico e dell'equilibrio statico nel caso di ammassi rocciosi, con particolare attenzione sia alle condizioni a "breve termine" durante la fase di costruzione dell'opera, sia a "lungo termine", a costruzione ultimata;
5. Lineamenti geomorfologici della zona e analisi dei processi morfogenetici con specifico riferimento ai dissesti in atto o potenziali ed alla loro tendenza evolutiva tenendo anche conto delle reali incidenze dell'intervento esaminando le condizioni di stabilità pre e post intervento;
6. Condizioni geoidrogeologiche del sito, con particolar riguardo a:
   - schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea;
   - livelli piezometrici e la loro escursione stagionale;
   - possibilità di inquinamento delle acque di deflusso e dei corpi idrici, in relazione all'esecuzione di pozzi idrici di prelievo, di pozzi perdenti, di impianti di irrigazione, di inumazione di cadaveri, ecc.

A corredo della relazione geologica vengono presentati di norma i seguenti elaborati grafici:

- Inquadramento geologico generale alla scala dello strumento urbanistico con eventuale sezione geologica esplicativa;
- Carta geomorfologica con rappresentazione dei processi morfologici in atto e/o potenziali;
- Carta geologico-tecnica di dettaglio in scala 1:500÷1:2.000 con ubicazione delle prove in sito effettuate;
- Sezione/i significativa/e geologico-tecnica/che di dettaglio in scala opportuna (1:100÷1:500) contenente la ricostruzione stratigrafica in base alle indagini eseguite *ad hoc* o esistenti.

Indicazioni sulle indagini geognostiche da eseguire per la redazione della relazione geotecnica secondo litologia interessata e complessità geologica del sito.

(La tipologia ed il numero delle indagini da effettuare rimangono a discrezione del professionista in riferimento ai dati in suo possesso relativi ad altri lavori svolti nell'area; in ogni caso dette indagini devono fare riferimento alle indicazioni dettate dalle normative vigenti)

Roccia	Depositi ghiaiosi cementati e/o molto addensati, argilliti	Roccia molto alterata, coperture detritiche, depositi sabbiosi e/o limosi, argillosi compatti	Depositi sabbiosi addensati; limosi ed argillosi da consistenti a mediamente consistenti	Depositi sabbiosi poco addensati, limosi ed argillosi da mediamente consistenti a scarsamente consistenti	Depositi di colmata, limi e sabbie sciolte, argille organiche, torbe, corpi di frana
• Saggi con escavatore, pozzi, trincee, cunicoli • Prospezioni sismiche a rifrazione • Piezometri (pressione neutra) • Prove con immissione di acqua in pozzetti o in fori di sondaggio (permeabilità)	• Saggi con escavatore, pozzi, trincee, cunicoli • Fori di sondaggio a percussione • Fori di sondaggio a rotazione • Prospezioni sismiche a rifrazione • Piezometri (pressione neutra) • Prove con immissione di acqua in pozzetti o in fori di sondaggio (permeabilità)	• Saggi con escavatore, pozzi, trincee, cunicoli • Fori di sondaggio a percussione • Fori di sondaggio a rotazione • Prove su campioni indisturbati • Prove penetrometriche statiche • Prove penetrometriche dinamiche • Prove SPT a fondo foro di sondaggi • Prospezioni sismiche a rifrazione • Piezometri (pressione neutra) • Prove con immissione di acqua in pozzetti o in fori di sondaggio (permeabilità)	• Saggi con escavatore, pozzi, trincee, cunicoli • Fori di sondaggio a percussione • Fori di sondaggio a rotazione • Prove su campioni indisturbati • Prove SPT a fondo foro di sondaggi • Piezometri (pressione neutra) • Prove con immissione di acqua in pozzetti o in fori di sondaggio (permeabilità)	• Saggi con escavatore, pozzi, trincee, cunicoli • Fori di sondaggio a percussione • Fori di sondaggio a rotazione • Prove su campioni indisturbati • Prove SPT a fondo foro di sondaggi • Prove scissometriche • Prove pressiometriche e dilatometriche • Piezometri (pressione neutra) • Prove con immissione di acqua in pozzetti o in fori di sondaggio (permeabilità)	• Saggi con escavatore, pozzi, trincee, cunicoli • Fori di sondaggio a percussione • Fori di sondaggio a rotazione • Prove su campioni indisturbati • Prove SPT a fondo foro di sondaggi • Prove scissometriche • Prove pressiometriche e dilatometriche • Piezometri (pressione neutra) • Prove con immissione di acqua in pozzetti o in fori di sondaggio (permeabilità)

3.2.19. STANDARD 19
Studi geologici per derivazione di acqua pubblica sotterranea

Normativa di riferimento (nazionale)

R.D. 1285/20
R.D. 1775/1933
Parere del Ministero LL.PP. del 17/12/1993, n.138
Ex art. 3 L. 112/1963, art. 41
Legge 17 agosto 1999, n. 290
L.R. n. 30 del 01.12.2000
D.P.R. 328/2001, D.M. 18/11/1971 e s.m.i.
Circolare CNG 252

Normativa di riferimento (regionale)

DA INSERIRE A CURA DI CIASCUN O.R.

Procedura operativa

1. Tipo di concessione (ordinaria – preferenziale o riconoscimento antico uso – sanatoria – rinnovo).
2. Identificazione tipo di derivazione (grande – piccola).Acquifero interessato e tipo di falda.
3. Ubicazione opera (coordinate UTM Fuso 33 o Gauss-Boaga "di presa e di restituzione" – stralcio cartografia a scala 1:25.000 e 1:10.000) univocamente indicata nei moduli e all'interno degli elaborati).
4. Tipo d'uso (potabile, irriguo, industriale, civile, scambio termico, zootecnico, altri usi).
5. Quantità richiesta: portata media (l/s), portata massima (l/s), volume annuo (m3/anno).
6. Moduli corrispondenti.
7. Vincoli preesistenti.
8. Modalità di utilizzo (destinazione dell'acqua, periodo di utilizzo, etc.).
9. Stesura della relazione geologica e idrogeologica (vedi Standards 11 e 12).
10. Caratteristiche tecniche delle opere.
11. Bibliografia.

Elaborati

12. Carta geologica con ubicazione dell'opera in scala sufficiente ad individuare le litologie presenti nell'area, i rapporti stratigrafici, gli elementi strutturali principali.
13. Carta idrogeologica con ubicazione dell'opera in scala sufficiente ad individuare le condizioni al contorno descritte nel modello concettuale definitivo, i complessi idrogeologici presenti, l'acquifero investigato, le principali direttrici di flusso, i punti di emergenza ed eventuali altre captazioni presenti.
14. Profilo idrogeologico interpretativo.
15. Sezione schematica del pozzo e stratigrafia del terreno con le relative quote/profondità e la quota/profondità dei livelli piezometrici incontrati.
16. Misure e elaborazioni da eseguire *post operam.* Pozzi: prova di portata pompaggio a gradini corredata dalla tabella dati riassuntiva della prova (portate, tempi, livelli piezometrici e abbassamenti) e dai grafici: abbassamenti/tempi (m-h), abbassamenti/portata (m-m^3/s), abbassamenti specifici/portata (m/m^3–m^3/s), abbassamenti/portata specifica (mm^3/s). La prova dovrà essere effettuata con almeno 3 gradini di portata di 2-3 ore ciascuno e le portate utilizzate dovranno essere prossime (inferiori e superiori) alla portata presunta di esercizio. Dovranno inoltre essere calcolati i coefficienti B, C della relazione di Jacob: A/Q=B+C*Q e dovrà essere definito il cono di emungimento per la verifica delle interferenze con le altre opere di derivazione esistenti nell'area. Sorgenti: regime di portata; portata minima e massima; descrizione delle opere di captazione e delle modalità di presa; presenza di altre emergenze e captazioni nell'area.

3.2.20. STANDARD 20
Studi geologici per derivazione di acqua pubblica superficiale

Normativa di riferimento (comunitaria)

WATER FRAMEWORK DIRECTIVE 2000/60/EC
GROUNDWATER DIRECTIVE 2006

Normativa di riferimento (nazionale)

R.D. 1904
R.D. 14.08.1920 n. 1285
R.D. 11.12.1933 n. 1775
Parere del Ministero Lavori Pubblici del 17/12/1993, n.138 ex art. 3 L. 112/1963, art. 41
D.P.R. 328/2001, D.M. 18/11/1971 e s.m.i.
Circolare CNG 252
D.P.R. 18.02.1999
L. 30.04.1999 n. 136 – art. 28
L. 17.08.1999 n. 290 – art. 2
D.Lgs. 3 aprile 2006 n. 152 e smi

Normativa di riferimento (regionale)

DA INSERIRE A CURA DI CIASCUN O.R.

Procedura operativa

1. Tipo di concessione (ordinaria – preferenziale o riconoscimento antico uso – sanatoria – rinnovo).
2. Identificazione tipo di derivazione (grande – piccola) e modalità derivazione.
3. Corpo idrico superficiale interessato e tipo di regime previsto.
4. Ubicazione opera (coordinate UTM Fuso 33 o Gauss-Boaga “di presa e di restituzione” – stralcio cartografia a scala 1:25.000 e 1:10.000) univocamente indicata nei moduli e all’interno degli elaborati).
5. Tipo d’uso (potabile, irriguo, industriale, civile, scambio termico, zootecnico, altri usi).
6. Quantità richiesta: portata media (l/s), portata massima (l/s), volume annuo (m^3/anno).
7. Moduli corrispondenti.
8. Vincoli preesistenti.
9. Modalità di utilizzo (destinazione dell’acqua, periodo di utilizzo, etc.).
10. Stesura della relazione geologica e idrogeologica (vedi Standards 11 e 12).
11. Relazione geologica e idrologica (vedi Standard 11 e 12) con:
    - inquadramento del bacino idrografico a cui fa riferimento e del corpo idrico interessato;
    - caratterizzazione idrologica del corpo idrico;
    - descrizione delle caratteristiche dell’opera di presa e dei dispositivi di contenimento della portata da derivare o di restituzione dei volumi non utilizzati.
12. Bibliografia.

Elaborati

Corografia su C.T.R. in scala 1:10.000 e su cartografia I.G.M. in scala 1:25.000.
Piante, prospetti, sezioni e particolari in scala 1:100 o comunque in scala adeguata delle opere di presa, dei canali derivatori e di scarico, delle condotte, dei congegni e dei meccanismi necessari all’esercizio della derivazione ed alla misurazione delle portate derivate e restituite.

3.2.21. STANDARD 21
Studi idrogeologici per la realizzazione di impianti di smaltimento di reflui domestici

Normativa di riferimento (nazionale)

D.Lgs. 152/2006

Normativa di riferimento (regionale)

DA INSERIRE A CURA DI CIASCUN O.R.

Procedura operativa

1. Indicazione se la zona è servita o meno da fognatura comunale, specificando la distanza dalla stessa qualora inferiore a 1 km, e il motivo della impossibilità all'allaccio.
2. Numero di persone da servire e conversione in numero di abitanti equivalenti.
3. Descrizione del sistema di depurazione adottato, dimensionamento e potenzialità, funzionamento.
4. Precisazione del rispetto della distanza da eventuali captazioni o derivazioni pubbliche destinate al servizio di acqua potabile, secondo le normative vigenti.
5. Precisazione del rispetto, secondo le normative vigenti, della distanza della sub-irrigazione di progetto da eventuali altri sistemi di dispersione.
6. Planimetria d'insieme con indicazione dei confini di proprietà.
7. Planimetria dell'insediamento in scala 1:200 con:
   - suddivisione in vani con indicazione delle quadrature delle camere da letto;
   - indicazione delle linee di acque reflue domestiche, meteoriche ed eventualmente di processo dai punti di origine ai punti di allaccio comprese vasche di raccolta e/o di trattamento dei reflui, pozzetti d'ispezione e/o campionamento;
   - indicazione eventuali pozzi di approvvigionamento idrico.

Nel caso di scarico negli strati superficiali del sottosuolo

8. Relazione idrogeologica (vedi Standards 11 e 12) con massimo livello della falda rispetto al fondo della trincea di sub-irrigazione;
   - direzione della falda sotterranea rispetto alla sub-irrigazione in presenza di eventuali pozzi o opere di captazione; stratigrafia dei terreni interessati con relativi valori di conducibilità idraulica;
   - determinazione della lunghezza della condotta disperdente desunta dal numero degli abitanti equivalenti da servire.

Nel caso di scarico in corpo idrico superficiale non significativo ai sensi del D.Lgs. 152/2006 occorre specificare la sua denominazione e ubicazione e dare indicazioni di massima sulla portata e sui periodi di secca.

Si ricorda che:

- non è ammessa l'installazione di vasche biologiche prima delle vasche Imhoff, in quanto verrebbe compromessa la funzionalità di queste ultime;
- le acque bionde, comprese quelle provenienti da lavandini, docce e degrassatori delle cucine, devono essere convogliate nella vasca Imhoff prima del trattamento in sub-irrigazione;
- la sub-irrigazione semplice o drenata deve essere preceduta da un pozzetto munito di sifone di cacciata;
- è ammesso lo scarico in corpo idrico superficiale dopo il solo trattamento di chiarificazione in vasca Imhoff per non più di 10 abitanti equivalenti.

Per il calcolo degli abitanti equivalenti si deve tener conto di:

- ciascun abitante negli edifici di civile abitazione;
- ciascun posto letto in edifici alberghieri, case di riposo e simili;
- uno ogni 3 posti mensa in ristoranti e trattorie;
- ciascun posto letto in attrezzature ospedaliere;
- uno ogni 5 dipendenti in edifici destinati a uffici, esercizi commerciali, industrie o laboratori che non producono acque reflue di lavorazione, o che comunque ne vengono tenute separate;
- uno ogni 5 posti alunno in edifici scolastici;
- uno ogni 7 utenti per bar, circoli e clubs;
- uno ogni 30 utenti per cinema, stadi, teatri, ecc.

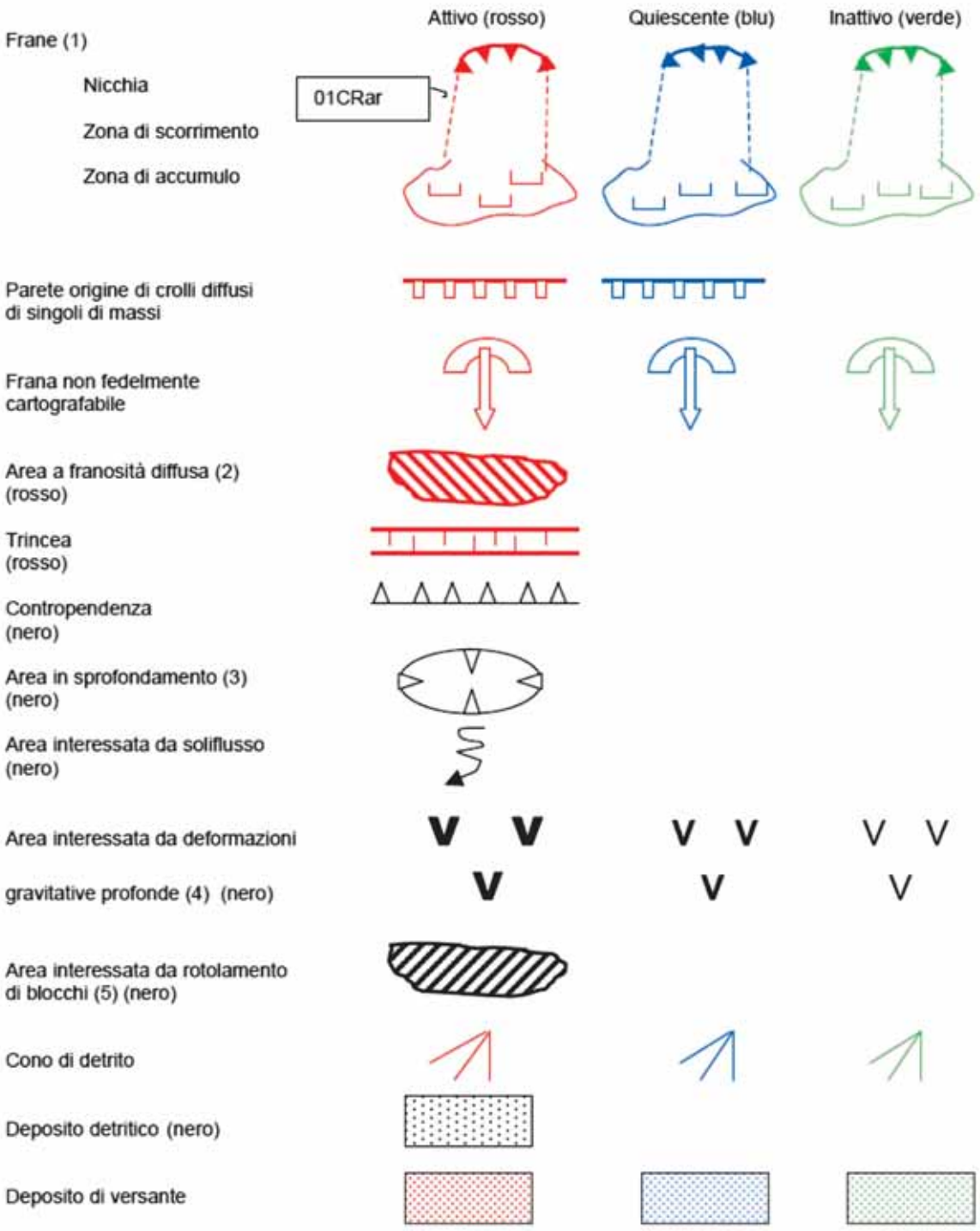
Indicazioni sulle indagini geognostiche da eseguire per la redazione della relazione geotecnica secondo litologia interessata e complessità geologica del sito.

(La tipologia ed il numero delle indagini da effettuare rimangono a discrezione del professionista in riferimento ai dati in suo possesso relativi ad altri lavori svolti nell'area; in ogni caso dette indagini devono fare riferimento alle indicazioni dettate dalle normative vigenti)

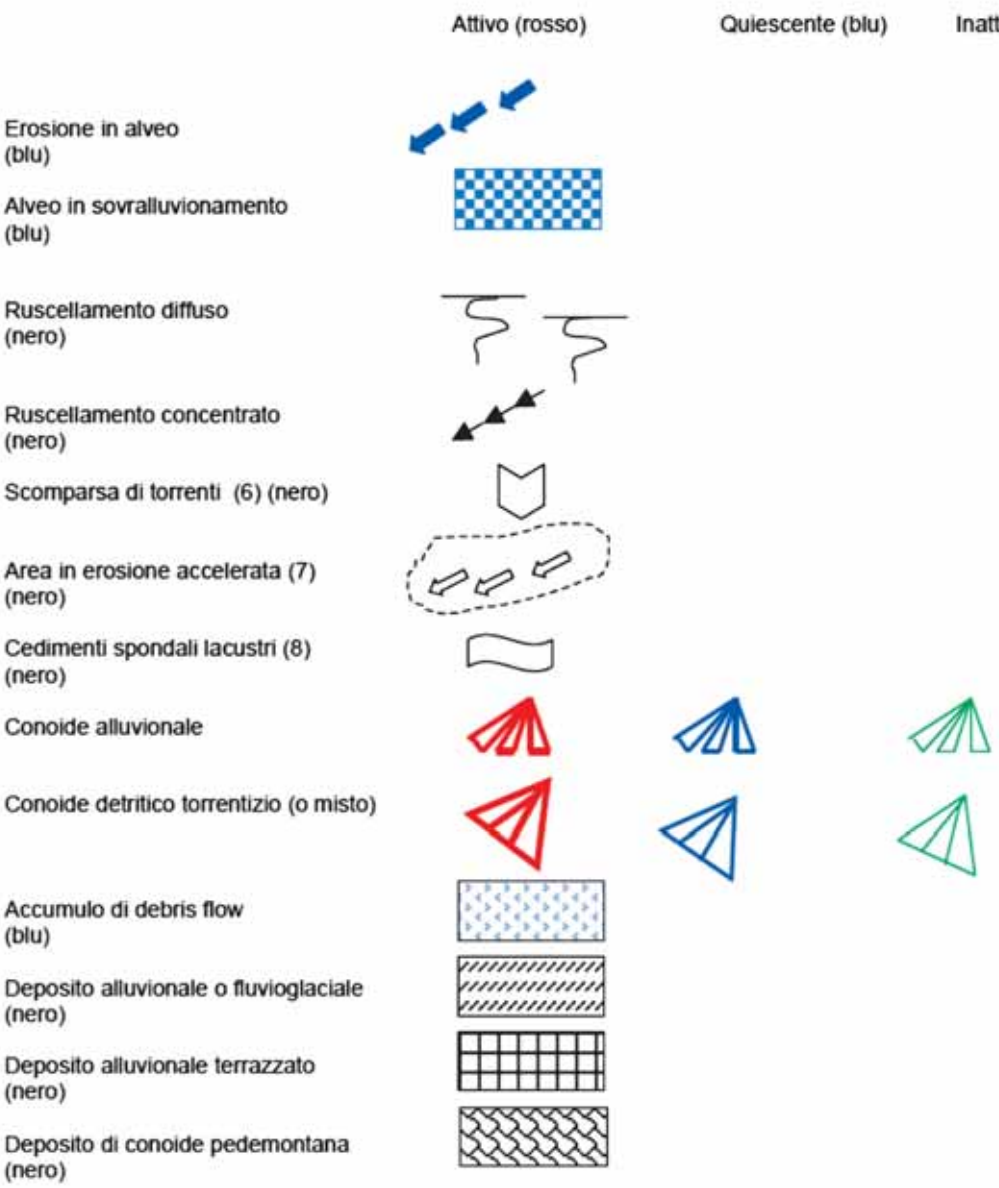
Roccia	Depositi ghiaiosi cementati e/o molto addensati, argilliti	Roccia molto alterata, coperture detritiche, depositi sabbiosi e/o limosi, argillosi compatti	Depositi sabbiosi addensati; limosi ed argillosi da consistenti a mediamente consistenti	Depositi sabbiosi poco addensati, limosi ed argillosi da mediamente consistenti a scarsamente consistenti	Depositi di colmata, limi e sabbie sciolte, argille organiche, torbe, corpi di frana
• Prove di conducibilità idraulica in situ a carico costante e/o variabile (in pozzetti, scavi, ecc.) • Eventuali analisi granulometriche • Eventuali prove di permeabilità in laboratorio					

LEGENDA CARTE DI INQUADRAMENTO E DI DETTAGLIO

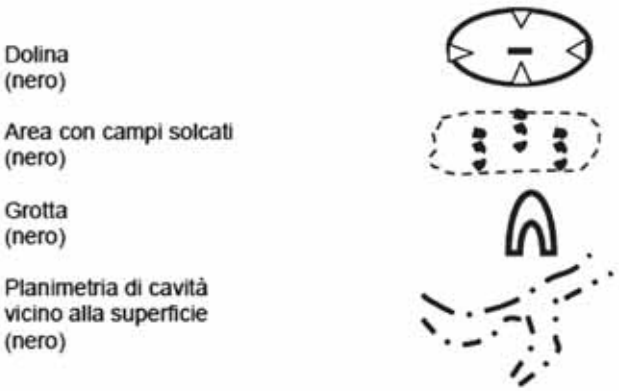
1. FORME, PROCESSI E DEPOSITI LEGATI ALLA GRAVITA'



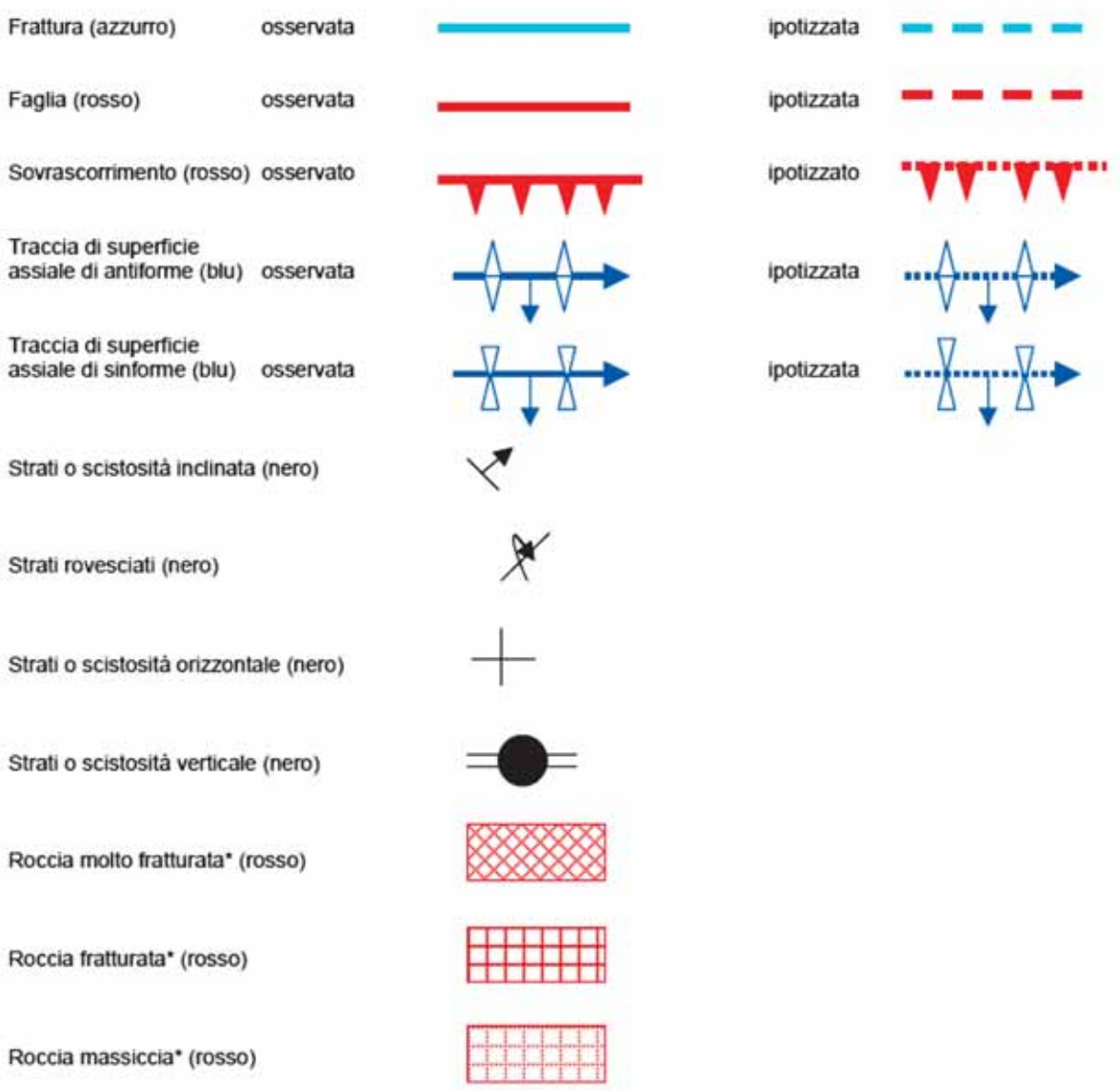
2. FORME, PROCESSI E DEPOSITI LEGATI ALLE ACQUE SUPERFICIALI



3. FORME E PROCESSI LEGATI AL CARSISMO



ELEMENTI STRUTTURALI



ELEMENTI IDROLOGICI, IDROGRAFICI E IDROGEOLOGICI

IDROLOGICI E IDROGRAFICI

Limite di bacini idrografico (azzurro) — principale — secondario

Stazioni di rilevamento idrometrico e pluviometrico (blu)

Tipologia corso d'acqua (blu) — perenne — temporaneo — non definito

Alveo di piena dei corsi d'acqua naturali e artificiali (blu)

Area periodicamente allagata (azzurro)

Zone con possibili fenomeni di ristagno (blu)

Punti di possibile tracimazione (azzurro)

Sezioni di deflusso insufficienti (giallo – contorno blu)

Scarpata fluviale — instabile (rosso) — stabile (verde)

Sponde in erosione (rosso)

Paleoalvei (nero)

tratto di corso d'acqua disperdente (nero)

tratto di corso d'acqua drenante (nero)

regime misto (nero)

Lago naturale (blu)

Lago di cava attiva (nero)

Lago di cava inattiva (nero)

Zona paludosa (nero)

IDROGEOLOGICI

Limite di bacino idrogeologico (verde) riconosciuto probabile

Caratteristiche degli acquiferi (verde)

Isopieze (distinguendo la tipologia della falda) 40

Direzione e verso di falda libera riconosciuto probabile

Direzione e verso di scorrimento di falda in pressione e sistemi multifalda riconosciuto probabile

Area con presenza di falde sospese

Sorgenti, Pozzi e Fontanili

Sorgenti captate (viola) (descrivere il tipo e l'utilizzo contrassegnando la sorgente con un numero o una sigla)

Sorgenti non captate (verde)

Pozzo pubblico per uso idropotabile (viola)

Pozzi pubblici e privati per utilizzi diversi (specificare il tipo di utilizzo) (verde)

Fascia di rispetto di pozzi e sorgenti (nero) specificare il criterio di delimitazione

Fontanile (verde)

Fascia dei fontanili (verde)

NOTE

* con l'asterisco sono indicati gli elementi da riportare solo nelle carte di dettaglio

(1) Ad ogni frana andrà associato un codice alfanumerico (es. 012CRr) composto da : numero progressivo, tipologia del movimento e tipo di materiale come da tabella sottostante

000.	Numero progressivo
	TIPOLOGIA DEL MOVIMENTO
CR	Crollo
RB	Ribaltamento
SV	Scivolamento
EL	Espansione laterale
SC	Scivolamento-colata
CO	Colata
	TIPO DI MATERIALE (prima del movimento)
r	Roccia
d	Deposito superficiale a granulometria prevalentemente grossolana
t	Deposito superficiale a granulometria prevalentemente fine
m	Misto

(2) si intende un'area caratterizzata da diffusi fenomeni di franosità superficiale (scivolamenti, soil slip, etc…);

(3) delimitare con precisione l'area e specificare in relazione se si tratta di aree in sprofondamento dovute a fenomeni naturali o antropici;

(4) definire l'area interessata da deformazione gravitativa profonda solo quando ha una chiara evidenza morfologica sul versante;

(5) si intende un'area in cui possono verificarsi rotolamenti di trovanti presenti in accumuli glaciali per erosione del materiale fine;

(6) indicare se si tratta di scomparsa per cause naturali o artificiali (tombinature,…)

(7) si intendono sia le aree calanchive sia quelle zone in cui è evidente una rapida erosione del terreno o della roccia;

(8) comprendono i fenomeni di cedimento di sponda per variazioni del livello del lago, oppure per erosione dovuta al moto ondoso.

ANNOTAZIONI DI CARATTERE GENERALE

Le singole carte tematiche previste negli standard di riferimento potranno essere eventualmente redatte in unico elaborato cartografico (in caso di opere non rilevanti) qualora vi sia omogeneità di scala tra le stesse e la sovrapposizione delle campiture e dei simboli non ingenerino difficoltà di lettura.
L'integrazione dei dati geognostici può avvenire anche attraverso indagini eseguite nell'ambito di altri lavori riguardanti settori prossimi a quello di progetto/studio. Tali indagini possono essere utilizzate ed allegate agli elaborati purché vengano indicati chiaramente ***l'ubicazione****, l'Autore del lavoro ed il titolo preciso. Inoltre il Professionista che utilizza dati altrui è tenuto a firmarli e timbrarli per renderli conformi all'originale ed a produrre una dichiarazione dalla quale si evinca che l'utilizzo di dati di proprietà altrui è autorizzato dal legittimo Proprietario (proprietà intellettuale o civile).*
È consigliabile produrre sempre elaborati firmati e timbrati in originale per evitare problemi di riproduzione non autorizzata. Per tale ragione, a corredo dello studio, il Professionista può produrre dichiarazione di autenticità degli elaborati nei termini e nelle forme previste dalla legge (Dichiarazione di autenticità).

4 - Parte Seconda

ALLEGATI ANALISI DI PERICOLOSITÀ GEOLOGICA

4 - Parte Seconda
ALLEGATI ANALISI DI PERICOLOSITÀ GEOLOGICA

ALLEGATO I

Procedura di analisi di pericolosità per fenomeni di crollo

Definizione dell'area interessata dalla propagazione di fenomeni di crollo

Il seguente metodo empirico per definire l'area interessata da un fenomeno di crollo, si basa sul cosiddetto "cono d'ombra", che sottende la zona in cui la maggior parte dei blocchi si dovrebbero arrestare. Il metodo si basa sugli studi di HEIM [1932], di LIED [1977], di ONOFRI & CANDIAN [1979], di EVANS & HUNGR [1993] e di MEISSL [1998].
Questo metodo previsionale empirico si basa sul concetto di linea di energia e di angolo di attrito equivalente; l'area interessata da un crollo può venir delimitata da un "cono" definito utilizzando l'angolo d'ombra minimo, a partire da una parete o da una porzione di versante possibile origine di crolli, oppure l'angolo di inclinazione del versante.
L'angolo d'ombra minimo è definito come l'inclinazione della retta che congiunge l'apice della scarpata con il blocco più lontano; secondo EVANS & HUNGR [1993], il valore medio di tale angolo è di 27,5°. Un'altra possibilità è di utilizzare l'angolo di inclinazione del versante (zona di deposito), calcolato partendo dal punto più alto della zona di distacco, congiungendolo con il masso che ha raggiunto la massima distanza di espandimento, che in genere fornisce valori compresi tra 28° e 41° [ONOFRI & CANDIAN, 1979]. (Fig.1).
La scelta tra i due metodi può essere effettuata in modo teorico, utilizzando la relazione di figura 2: se Z_1/Z_2 è <0.8825 si utilizza l'angolo d'ombra minimo; se tale rapporto è >0.8825, si utilizza l'angolo di inclinazione del versante.

Figura 1 - Delimitazione in pianta del "cono d'ombra" per frane di crollo.

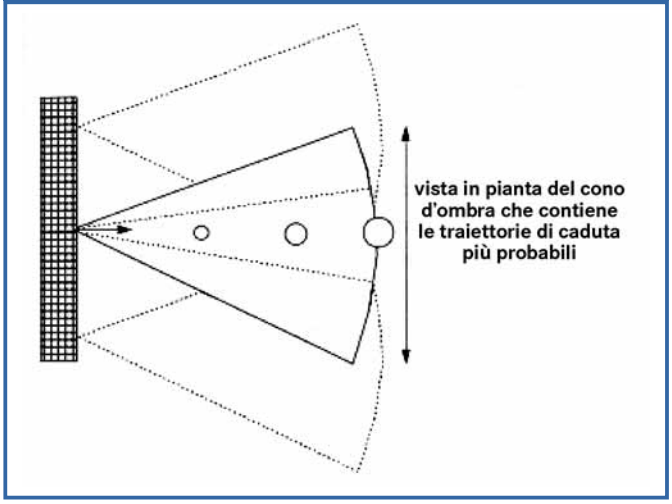
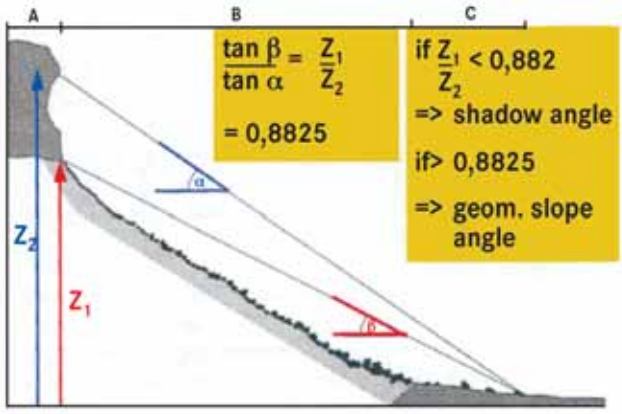


Figura 2 - Basi teoriche che illustrano quando usare l'angolo d'ombra minimo o l'angolo di inclinazione del versante.



La zonazione della pericolosità generata da crolli in roccia

Per la mappatura della pericolosità generata da crolli in roccia si propongono due procedure differenti, una per crolli di singoli massi o per crolli di massi fino ad una volumetria massima complessiva di circa 1000 m^3 e un'altra per crolli in massa (volumetrie tra 1000 e alcune centinaia di migliaia di metri cubi).

Crolli di singoli massi o inferiori a 1000 m^3

La procedura proposta, denominata R.H.A.P. (*Rockfall Hazard Assessment Procedure*), è valida per crolli di singoli blocchi o per crolli di massi fino ad una volumetria massima complessiva di 1000 m^3. Questa procedura si sviluppa in più fasi.
Il primo passo è l'individuazione dei settori di parete rocciosa potenziale origine di crolli; si procede alla delimitazione in aree omogenee in funzione dei seguenti aspetti:

1. caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso ricavate da rilievi in sito;
2. morfologia del versante lungo le traiettorie di discesa (zone di transito e d'arresto) dei blocchi, valutando l'altezza della parete e la pendenza del versante sottostante;
3. presenza di opere di difesa, di cui vanno valutati le caratteristiche di assorbimento di energia e il loro stato di efficienza;

questi parametri vengono poi utilizzati nella modellazione numerica.

In ciascuna delle aree omogenee così definite, sono scelte, in pianta, una o più traiettorie di discesa dei blocchi su cui effettuare analisi di rotolamento tramite simulazioni di caduta, con modelli numerici di tipo stocastico, supportate da rilievi geomeccanici e da osservazione degli accumuli di detrito.
Le simulazioni di caduta con modelli numerici (cinematici e/o dinamici) sono effettuate prendendo in considerazione i seguenti parametri:

- zona di partenza dei blocchi: la sommità della parete;
- volumetria dei massi: le dimensioni modali, valutate tramite analisi statistica (istogramma di frequenza) del detrito al piede della parete in esame e/o in base alla fratturazione in parete, ricavata da rilievi geomeccanici. Possono essere considerati più valori modali nel caso in cui la distribuzione sia bi- o polimodale;
  Oltre ai volumi modali si deve prendere in considerazione anche il volume maggiore o quello del blocco che ha raggiunto la distanza massima ed eventualmente il blocco potenzialmente instabile di maggiori dimensioni riscontrato in parete;
- forma: dovrà essere utilizzata nella simulazione la forma più simile alla forma modale osservata nel detrito o in parete oppure la forma fisicamente più sfavorevole;
- coefficienti di restituzione e rugosità: vanno valutati attraverso un rilievo puntuale delle traiettorie di caduta, sia reali che ipotizzate, prestando particolare attenzione al tipo di superficie, tipo di vegetazione presente, profondità e distanza tra solchi di impatti precedenti, eventuali danni a strutture e piante, ecc. La valutazione dei coefficienti di restituzione andrà effettuata quando possibile anche attraverso calibrazioni tramite eventi pregressi;
- numero di simulazioni: essendo questa analisi di tipo probabilistico, è necessario effettuare numerose simulazioni di caduta (sono da effettuare almeno 1000 cadute per ogni traiettoria).

In base ai risultati delle analisi di rotolamento massi, si esegue una zonazione longitudinale preliminare delle traiettorie di caduta suddividendole in 3 zone:

a) di transito e di arresto del 70% dei blocchi;
b) di arresto del 95% dei blocchi;
c) di arresto del 100% dei blocchi.

Queste percentuali sono valutate sulla totalità delle simulazioni effettuate, per ogni traiettoria, sui blocchi modali di qualsiasi forma considerata e verrà tenuta in considerazione la zonazione longitudinale più sfavorevole. A queste zone vengono assegnate le classi di pericolosità relativa: 4 (a), 3 (b), 2 (c). In aggiunta si delimita un'area di bassa pericolosità (valore 1) utilizzando la distanza massima raggiunta dal blocco di maggiori dimensioni oppure la distanza massima raggiunta da massi di crolli precedenti.
Successivamente si valuta la probabilità di accadimento del fenomeno in ciascuna delle aree omogenee, definendo la propensione al distacco dei blocchi. A tale scopo si suddivide la parete in maglie, con lato da 5 m fino a 20 m, secondo la complessità geomeccanica dell'area omogenea o in base alle dimensioni della parete.

Per ciascuna maglia si verifica la presenza dei seguenti elementi di instabilità:

- fratture aperte con evidenze di attività associate a cinematismi possibili;
- blocchi ruotati;
- zone intensamente fratturate;
- superfici non alterate che testimoniano recenti distacchi;
- emergenze di acqua alla base dei blocchi.

Per ogni maglia viene quindi indicato il numero degli elementi di instabilità presenti. Poi, per ogni area omogenea viene calcolata la somma di tutti gli elementi di instabilità presenti e viene ricavata la percentuale di attività in relazione al numero massimo ottenibile nell'area omogenea, dando a ciascuna maglia il valore massimo 5 (Fig. 3).
In base alle percentuali così ricavate, le aree omogenee vengono raggruppate in 3 gruppi a differente attività relativa per il sito indagato: alta, media, bassa. Non vengono indicati valori di percentuali di riferimento assolute per evitare che gran parte delle aree omogenee risultino avere lo stesso valore di pericolosità, impedendo una zonazione. Tuttavia, nel caso in cui tutte le aree omogenee presentino percentuali inferiori al 10% non si ritiene necessario effettuare la zonazione della pericolosità.
Spesso succede che le aree omogenee nelle zone di rotolamento e di arresto dei blocchi si sovrappongano parzialmente o anche totalmente; in tali casi la rappresentazione in carta risulterà dalla sovrapposizione delle aree omogenee, in modo che le aree ad attività maggiore risultino sovrapposte a quelle ad attività minore. La zonazione finale della pericolosità viene definita utilizzando i valori delle classi di pericolosità relativa della zona di transito e accumulo dei blocchi, che vengono aumentati di 1, mantenuti costanti o diminuiti di 1, a seconda che le pareti sovrastanti appartengano ai gruppi di attività alta, media o bassa rispettivamente. Si possono così avere in totale 5 classi di pericolosità, da H1 a H5.
Esiste una tipologia di frana, assimilabile ai crolli, che non rientra nelle normali classificazioni e riguarda la caduta di blocchi, più o meno arrotondati, scalzati da depositi glaciali o da terrazzi fluvioglaciali. Il meccanismo di rotolamento a valle dei blocchi è del tutto assimilabile a quello dei crolli e quindi va

Figura 3 - Schema di valutazione dell'attività relativa delle aree omogenee di origine dei crolli. Ogni area omogenea è suddivisa in maglie in ciascuna delle quali è riportato il numero degli elementi di instabilità riscontrati.

Area omogenea 1			Area omogenea 2				Area omogenea 3		
	2			1				2	1
3			3	2	2				3
	3	4		1	2				1
	2	2		1		2		2	
2					2	1			

Area omogenea 1 - Numero totale elementi di instabilità presenti: 18 su 75 (numero massimo ottenibile di elementi di instabilità per l'area omogenea. Percentuale di attività relativa: 24% (alta).
Area omogenea 2 - Numero totale elementi di instabilità presenti: 17 su 100. Percentuale di attività: 17% (media).
Area omogenea 3 - Numero totale elementi di instabilità presenti: 9 su 75. Percentuale di attività: 12% (bassa).

In questa rappresentazione i limiti tra le aree omogenee sono stati schematizzati con delle linee rette e sono state considerate solo separazioni verticali. Nella realtà possono verificarsi casi molto più complessi.

seguita la procedura sopra descritta per quanto riguarda la determinazione della pericolosità preliminare. Per passare alla pericolosità finale si procede come per i crolli, sovrapponendo la griglia alle aree omogenee e valutando l'attività in funzione dei seguenti parametri:

- presenza di scollamenti tra matrice e blocchi;
- blocchi o ciottoli parzialmente ruotati nella matrice;
- blocchi in buona parte isolati rispetto alla matrice;
- superfici non alterate o incavi che testimoniano recenti distacchi;
- emergenze di acqua alla base dei blocchi.

Le varie fasi dello studio per i crolli andranno descritte nella relazione geologica che deve sviluppare i seguenti punti:

1. **Inquadramento geologico-geomorfologico:** geologia e geomorfologia di un intorno significativo dell'area in esame; dati esistenti sulle frane già avvenute.
2. **Caratterizzazione delle aree omogenee:** risultati e descrizione dei rilievi geomeccanici; descrizione dei parametri per la definizione delle aree omogenee e per la scelta delle traiettorie di caduta massi; modellazione statistica dei volumi e della forma dei blocchi (istogrammi di frequenza).
3. **Simulazione della caduta massi:** breve descrizione del codice di calcolo utilizzato e dei parametri di ingresso usati e in particolare i coefficienti di restituzione e la rugosità; risultati delle simulazioni di caduta massi, con visualizzazione dei rimbalzi lungo la traiettoria di caduta, istogrammi di frequenza di altezza dei rimbalzi, velocità, energia per ogni traiettoria analizzata.
4. **Descrizione del calcolo delle percentuali di instabilità in parete delle aree omogenee**.
5. **Discussione dei risultati e conclusioni**.

Allegati alla relazione sono previsti i seguenti elaborati cartografici e schede:

1. *Carta di inquadramento geologico-geomorfologica,* con unità geologiche e principali elementi strutturali e geomorfologici (scala 1:10000), che può essere desunta da dati preesistenti a scala adeguata;
2. *Carta dei dissesti con elementi morfologici,* in cui vanno riportati gli elementi morfologici dei dissesti, l'idrogeologia, le opere di difesa e di sistemazione, etc., come da legenda allegata (scala 1:1000 - 1:5000);
3. *Carta delle aree omogenee,* in cui sono da riportare le diverse aree omogenee con le percentuali di attività, le traiettografie, le maglie con gli elementi di instabilità (scala 1:500 – 1:2000); nel caso in cui le maglie non siano rappresentabili in planimetria dovranno essere fornite fotografie della parete con sovrapposte le maglie utilizzate;
4. *Carta della pericolosità preliminare,* con la zonazione preliminare della pericolosità da H2 a H4 (scala 1:500 – 1:2000);
5. *Carta della pericolosità finale,* con la zonazione delle aree di pericolosità da H1 a H5 (scala 1:2000);
6. *Scheda frane* per tutta l'area considerata;
7. *Scheda crolli* per ogni singola area omogenea;
8. *Scheda di rilevamento geomeccanico* per ogni stazione.

Crolli in massa

Per crolli in massa si intendono frane con volumetria compresa tra i 1000 m^3 e qualche centinaia di migliaia di metri cubi.
La procedura proposta prevede, per il sito studiato, l'identificazione delle aree soggette a crolli in massa potenziali, rilevando le fratture aperte che isolano volumi di roccia potenzialmente instabili, in zone limitrofe a crolli già avvenuti o in zone che non sono ancora state soggette a franamenti.

Successivamente, per ogni area, si determinano, se possibile, i volumi minimi, medi e massimi potenzialmente instabili, includendo l'eventuale ampliamento della nicchia di distacco di fenomeni già avvenuti. In base a queste volumetrie si calcolano le distanze massime raggiungibili e le relative aree di espansione dell'accumulo per ciascun volume secondo i metodi empirici disponibili in letteratura.
SCHEIDEGGER [1973] fornisce la formula:

$$\log f = a * \log V + b$$

in cui f = H/x. In tal modo è possibile calcolare la distanza massima raggiungibile dalla frana (x) inserendo i valori di dislivello (H) in metri, il volume presunto (V) e le due costanti a = −0.15666 e b = 0.62419.
DAVIES [1982] propone invece un legame tra il volume (V) e la distanza raggiunta (Ra), secondo la formula:

$$Ra = 9.98\ V\ 0.33.$$

Anche TIANCHI [1983] mette in relazione il volume (V) della frana con la distanza raggiunta (L), secondo la formula:

$$\log (H/L) = A + B \log V$$

in cui H è il dislivello e A e B due costanti del valore rispettivo 0.6640 e −0.1529. Un legame tra distanza raggiunta dalla frana, il volume e la pendenza è proposto da HUTCHINSON (1988) in un diagramma che, per le volumetrie qui considerate, si riferisce a dati ricavati da crolli in calcari porosi (*chalk*). Andrà utilizzato il metodo empirico più adatto alle volumetrie ipotizzate e alle caratteristiche litologiche del sito. La larghezza e la forma dell'accumulo di frana vanno delimitate tenendo conto della morfologia del pendio e dell'area di possibile espansione [vedi per esempio: NICOLETTI & SORRISO-VALVO, 1991].
I metodi sopra citati sono validi soprattutto per volumetrie elevate; per i crolli di poche migliaia di m^3 si possono utilizzare metodi basati sulle linee di energia [es. HEIM, 1932] associandoli a simulazioni di caduta massi. La zonazione della pericolosità preliminare dell'accumulo può essere valutata in due modi che possono essere integrati tra loro. Preferibilmente si utilizzeranno le tre volumetrie identificate (minima, media, massima) per ogni area; se questo non è possibile si applicheranno più metodi empirici che risulteranno più o meno conservativi. In questo modo si distingueranno tre distanze massime raggiungibili dalla frana e quindi tre zone di pericolosità relativa decrescenti (4, 3, 2) verso le zone più distanti.
Per valutare l'attività delle aree di distacco e quindi passare alla pericolosità finale, le aree di distacco andranno classificate nel seguente modo:

- **non attive** - se vi sono fratture aperte senza sintomi di movimento. Questa condizione è evidenziata ad esempio, dalla presenza di vegetazione antica all'interno della frattura, dalla assenza di evidenze di crolli recenti in parete e fattori innescanti quali infiltrazioni d'acqua, ecc.;
- **quiescenti** - se sono presenti fratture aperte e persistenti e se vi è possibilità cinematica di movimento della porzione di ammasso roccioso in esame;
- **attive** - se, oltre ai sintomi precedenti, vi sono anche fratture con superfici non alterate, evidenze di frequenti crolli di blocchi, blocchi ruotati, emergenze di acqua, piante con radici tirate.

A questo punto il valore della pericolosità viene diminuito, mantenuto costante o aumentato di 1 a seconda che la zona di distacco sia stata classificata non attiva, quiescente o attiva rispettivamente. In questo modo si ottiene la zonazione finale della pericolosità con le 5 possibili classi da H1 a H5. Spesso può succedere che si sovrappongano diverse aree di accumulo con la loro rispettiva zonazione; la zonazione totale dell'intera area risulterà dalla sovrapposizione delle zonazioni, in modo che le aree a pericolosità maggiore risultino sovrapposte a quelle di pericolosità minore.
Le varie fasi dello studio andranno descritte in una relazione geologica che deve sviluppare i seguenti punti:

1. **Inquadramento geologico-geomorfologico:** geologia e geomorfologia di un intorno significativo dell'area in esame; dati esistenti sulle frane già avvenute.

2. **Caratterizzazione delle aree potenziali di crollo in massa:** risultati e descrizione dei rilievi geomeccanici; descrizione delle principali discontinuità e delle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso; eventuali dati di monitoraggio; definizione dei volumi potenzialmente instabili (scenari di instabilità); descrizione del pendio sottostante.
3. **Valutazione delle aree di espansione:** scelta del metodo e dei parametri utilizzati.
4. **Valutazione dello stato di attività delle aree potenzialmente instabili**.
5. **Discussione dei risultati e conclusioni**.

Allegati alla relazione sono previsti i seguenti elaborati cartografici e schede:

1. *Carta di inquadramento geologico-geomorfologica,* con unità geologiche e principali elementi strutturali e geomorfologici (scala 1:10000) che può essere desunta da dati preesistenti a scala adeguata;
2. *Carta dei dissesti con elementi morfologici,* in cui vanno riportati gli elementi morfologici dei dissesti, l'idrogeologia, le opere di difesa e di sistemazione, etc., come da legenda allegata (scala 1:2000 - 1:5000);
3. *Carta delle aree potenziali di crollo e della pericolosità preliminare,* in cui sono da riportare le zone potenzialmente instabili e le diverse aree di espansione, con zonazione preliminare della pericolosità (scala 1:2000 - 1:5000); se la parete origine del crollo è molto acclive, è meglio allegare fotografie con delimitate graficamente le aree potenziali di crollo;
4. *Carta della pericolosità finale,* con la zonazione delle aree di pericolosità da H1 a H5 (scala 1:2000 - 1:5000);
5. *Scheda frane per tutta l'area considerata*;
6. *Scheda di rilevamento geomeccanico per ogni stazione*.

SCHEDA CROLLI

Lunghezza massima piste di discesa (m)	

ZONA DI DISTACCO	Pendenza (°)					
	Altezza della parete (m)					
	Forma della parete	Planare				
		Convessa				
		Concava				
		Aggettante				
	Fratture a monte della parete		sì		no	
	Presenza di contatti litologici		sì		no	
	Presenza di interstrati argillitici		sì		no	
	Presenza di venute d'acqua		sì		no	
	Volumetrie potenzialmente instabili (totale in m^3)					
	Sintomi di attività	Fratture aperte	sì		no	
		Blocchi ruotati	sì		no	
		Zone intensamente fratturate	sì		no	
		Superfici non alterate	sì		no	
	Esecuzione di rilievo geomeccanico (n)*					

ZONA DI TRANSITO	Pendenza media versante (°)					
	Natura della superficie	Roccia resistente				
		Roccia debole				
		Detrito grossolano				
		Detrito fine				
		Terreno				
	Tipo di impatti	Impatti singoli*	sì		no	
		Impatti multipli*	sì		no	
	Rottura di blocchi per impatto		sì		no	
	Tipo di vegetazione	Assente				
		Erbacea				
		Arbustiva	sì		no	
		Di alto fusto	sì		no	
	Altezza vegtazione abbattuta (m)					

(Da compilare per ogni area omogenea).

VALORI DEI COEFFICIENTI DI RESTITUZIONE E DI ROTOLAMENTO DA LETTERATURA

[Tratti da CROSTA & AGLIARDI, 2000]

Tabella 7.1 - Valori di *e (coefficiente di restituzione)* e di $tg\delta_r$ *(coefficiente di rotolamento)* proposti da differenti autori.

Autore, anno	e	$tg\delta_r$
HABIB [1977]; PAIOLA [1978]; HALLBAUER [1986]	0.50 - 0.60	–
BROILI [1978]	0.75 - 0.80 (roccia)	–
BROILI [1978]	0.20 - 0.35 (detrito)	–
BOZZOLO & PAMINI [1986]	–	0.60 - 1.00
DESCOUEDRES & ZIMMERMANN [1987]	0.40 - 0.85 (normale)	0.30 - 0.50
COCCO [1993]	0.28 - 0.75	0.35 - 0.85

Tabella 7.2 - Valori di e_t, e_n *(coefficienti di restituzione tangenziale e normale)* e di $tg\delta_r$ *(coefficiente di attrito dinamico al rotolamento)* proposti da AZZONI *et al.* [1991].

Natura del substrato	e_t	e_n	$tg\delta_r$
Roccia	0.45 - 0.75	0.45 - 0.75	0.97
Detrito fine	0.66	0.3	0.75
Detrito misto a terra	0.66	0.62	0.39
Detrito grossolano	0.80	1.00	0.88

Tabella 7.3 - Valori di e_t ed e_n *(coefficienti di restituzione tangenziale e normale)* proposti da PFEIFFER & BOWEN [1989a, 1989b] e da BARRET *et al.* [1989].

Natura del substrato	e_t	e_n
Roccia o pavimentazione stradale	0.87 - 0.92	0.37 - 0.42
Roccia intatta con blocchi isolati	0.83 - 0.87	0.33 - 0.37
Detrito a blocchi, scarsa vegetazione	0.82 - 0.85	0.30 - 0.33
Detrito abbondantemente vegetato	0.80 - 0.83	0.28 - 0.30
Pendio in terreno coesivo	0.78 - 0.82	–

Tabella 7.4 - Valori di *e (coefficiente di restituzione)* e di $tg\delta_r$ *(coefficiente di rotolamento)* proposti da AZZONI & DE FREITAS [1995].

Natura del substrato	e	$tg\delta_r$
Roccia affiorante	0.85	0.40
Detrito compatto	0.60	0.55
Detrito non compattato	0.40	0.75
Detrito	0.55	0.60
Detrito frammisto a terreno coesivo	0.45	0.60
Materiale coesivo	0.20	0.80
Terreno compattato artificialmente	0.50 - 0.60	0.60

ALLEGATO II

Procedura pericolosità generata da colate e da scivolamenti che evolvono in colate

Questa procedura viene applicata alle colate e agli scivolamenti in terreno che possono evolvere in colate. Si tratta di fenomeni diffusi su ampie aree e generalmente di piccola volumetria (fino a 1000 m^3), che interessano la parte superiore dei depositi superficiali (in generale fino a un massimo di 2 m di spessore). Per valutare la probabilità di innesco di colate e scivolamenti, si devono individuare le aree coperte dai depositi superficiali che possono essere rimobilizzate in caso di forti piogge, prendendo in considerazione l'intero versante, fino eventualmente alla cresta. Una volta individuate, queste aree devono essere suddivise in zone a pendenza e caratteristiche di resistenza al taglio (valutata in base alla litofacies e alla granulometria riconosciuta in sito, o eventualmente tramite analisi granulometriche) omogenee. Per la definizione della granulometria si consiglia di utilizzare la classificazione UNI EN ISO 14688.
Nel caso in cui vi siano depositi che presentano mescolanze di varie classi granulometriche viene considerata la classe granulometrica più rappresentata (valori modali) oppure quella di granulometria inferiore (argilla e limo), se presente in percentuali superiori al 25% o se forma orizzonti continui di spessore almeno centimetrico.
Per quanto riguarda la pendenza devono essere individuate almeno 3 classi in funzione delle caratteristiche morfologiche del versante (naturalmente solo per le aree in terreno).
Per quanto riguarda le caratteristiche di resistenza al taglio, queste dovranno essere valutate (in termini di coesione e attrito) per ogni litofacies riconosciuta. A questo scopo, si utilizzino se possibile dati derivati da prove di laboratorio sulle litologie del sito indagato. In mancanza di questi dati, possono essere utilizzate correlazioni empiriche che mettono in relazione i risultati di semplici prove in sito con i parametri di resistenza al taglio, come ad esempio *Vane test* e *pocket-penetrometer* per la coesione non drenata (C_u) per i terreni coesivi. Per i terreni non coesivi si possono utilizzare correlazioni tra la densità relativa e l'angolo di attrito. La sovrapposizione dei due tipi di aree sopra definite fornirà una serie di aree omogenee ciascuna caratterizzata da classi di valori di pendenza, angolo d'attrito e coesione. Questi valori vengono utilizzati per ricavare speditivamente il fattore di sicurezza (Fs) usando il metodo del pendio indefinito, di facile applicazione mediante l'utilizzo di sistemi GIS, oppure le carte di stabilità più adatte alle condizioni morfologiche, idrogeologiche e geomeccaniche del versante. Naturalmente, se sono disponibili dati più dettagliati e affidabili, è possibile procedere ad analisi di stabilità con metodi più rigorosi.
A questo punto è possibile procedere alla valutazione preliminare della pericolosità, che è funzione del fattore di sicurezza ricavato:

Fs = 1,40 - 2,00 - pericolosità preliminare = H2
Fs = 1,20 - 1,40 - pericolosità preliminare = H3
Fs = 1,00 - 1,20 - pericolosità preliminare = H4

Per valutare la pericolosità finale dell'area vanno presi in considerazione altri due parametri: possibili concentrazioni d'acqua e tipologia della vegetazione.
Per quanto riguarda le concentrazioni di acqua andrà verificata la presenza di:

- condizioni morfologiche sfavorevoli (es. piccoli impluvi, vallecole, ecc.) tenendo anche conto, ove possibile, della morfologia sepolta (forma del substrato roccioso, paleoalvei, ecc.);
- livelli argillosi o variazioni di permeabilità nel terreno;
- interventi antropici (muretti a secco, canalette, tornanti stradali, fossi, scarichi, ecc.).

Per quanto riguarda la tipologia della vegetazione andrà diversificata in funzione della profondità degli apparati radicali della vegetazione d'alto fusto.

Nel caso in cui siano presenti uno o più fattori di concentrazione delle acque, il valore della pericolosità preliminare viene aumentato di 1. Solo nel caso in cui si ritenga che la profondità dell'apparato radicale della vegetazione presente sia superiore a quella delle potenziali superfici di scivolamento, sarà possibile diminuire di 1 il valore della pericolosità preliminare. Questa variazione di pericolosità va effettuata su tutta l'area omogenea se i fattori sopra elencati sono diffusi su tutta l'area; limitatamente alla zona di influenza del fenomeno se il fattore interessa solo alcune porzioni dell'area omogenea.
Infine occorre calcolare la pericolosità nelle zone di accumulo delle frane qui prese in considerazione. In generale si possono presentare due casi: scivolamenti non incanalati e colate o scivolamenti che evolvono in colate incanalate. La valutazione della pericolosità delle zone di accumulo va fatta solo nei casi in cui le zone di potenziale distacco si trovino in aree a pericolosità totale medio-alta (3, 4 e 5).
Vanno considerati per primi gli scivolamenti non incanalati. In questo caso lo spostamento è in genere limitato e il volume dell'accumulo non è molto superiore al volume della massa staccatasi, in quanto non viene preso in carico ulteriore materiale durante il movimento. Quindi per questi fenomeni può essere considerato sufficiente calcolare la distanza massima raggiungibile dalla frana.
La formula più semplice e di immediata applicazione per la stima delle distanze massime (L, in metri) di arresto dei materiali franati in relazione all'altezza (H, in metri) del punto di distacco è quella proposta da GOVI *et al.* [1985]:

$$L = 46{,}91 * \log(H+3) - 22{,}38$$

L'altezza H viene valutata come il dislivello tra il punto topograficamente più alto dell'area di possibile distacco e una zona sottostante, a bassa pendenza o pianeggiante, in cui è possibile l'accumulo. Nel caso in cui l'area di possibile distacco sia particolarmente ampia si valuterà l'altezza H e quindi la lunghezza L su più sezioni.
Una volta calcolata la distanza massima, si delimita l'area di possibile espansione che avrà ampiezza minima pari a quella della nicchia da cui il distacco è stato ipotizzato. Il valore di pericolosità di questa zona d'accumulo sarà pari a quello della zona di distacco.
Le colate o gli scivolamenti che evolvono in colate incanalate, presentano percorsi prevedibili e talora di notevole lunghezza; inoltre i volumi possono subire incrementi nel caso in cui venga asportato materiale lungo l'impluvio. Per ogni singolo impluvio va dapprima individuata l'area pianeggiante di possibile accumulo (in genere in fondovalle o alle confluenze) e quindi si procede alla zonazione concentrica dell'area di accumulo. L'estensione dell'accumulo è funzione dello spessore del terreno nelle zone di distacco, della quantità di materiale asportabile lungo il canale e/o immesso nell'asta principale dai tributari o proveniente da altri eventi franosi verificatisi in impluvi confluenti, e dalla morfologia della zona di accumulo. La zonazione viene effettuata secondo tre classi di pericolosità decrescenti verso l'esterno, in cui la massima pericolosità sarà pari a quella della zona di distacco.
Nel caso in cui il materiale appartenente ad aree di possibile distacco a pericolosità diversa confluisca nello stesso impluvio, il valore massimo dell'accumulo sarà quello dell'area a pericolosità più elevata. Lo stesso valore andrà anche attribuito alla zona di transito della colata (impluvio) e ad eventuali zone in cui è ipotizzabile una fuoriuscita del materiale dall'impluvio.
Nel caso in cui lungo l'impluvio siano presenti opere di sistemazione, si dovrà verificare la correttezza del dimensionamento delle opere in funzione della quantità di materiale mobilizzabile e la loro efficienza (stato di manutenzione). Se l'opera viene ritenuta efficace, il valore di pericolosità massimo dell'accumulo e quello lungo l'impluvio saranno diminuiti di 1.
La valutazione dell'area di accumulo della colata può essere effettuata con metodi semiempirici, quali quelli per la mappatura della zona di accumulo del materiale solido in prossimità di un improvviso cambiamento di pendenza [TAKAHASHI & YOSHIDA, 1979; LIU, 1996]. In alternativa alla zonazione dell'area di accumulo, qualora questa fosse di difficile applicazione o non significativa, si deve considerare tutta l'area di accumulo della colata e assegnare ad essa il valore massimo di pericolosità ricavato come sopra.

Le varie fasi dello studio andranno descritte in una relazione geologica che deve sviluppare i seguenti punti.

1. **Inquadramento geologico-geomorfologico:** geologia e geomorfologia di un intorno significativo dell'area in esame; dati esistenti sulle frane già avvenute; dati sulla piovosità.
2. **Caratterizzazione delle aree omogenee:** descrizione accurata delle litofacies dei depositi superficiali e valutazione della loro granulometria e caratteristiche di resistenza al taglio; scelta delle classi di pendenza; descrizione dell'analisi speditiva di stabilità.
3. **Condizioni del versante:** analisi delle condizioni idrogeologiche del versante e degli impluvi; descrizione delle sorgenti e delle zone di concentrazione d'acqua; tipologia della vegetazione.
4. **Zone di accumulo delle colate:** descrizione dei metodi utilizzati per la delimitazione delle aree di accumulo.
5. **Discussione dei risultati e conclusioni**.

Allegati alla relazione sono previsti i seguenti elaborati cartografici e schede:

1. *carta di inquadramento geologico-geomorfologica*, con unità geologiche e principali elementi strutturali e geomorfologici (scala 1:10000) che può essere desunta da dati preesistenti a scala adeguata;
2. *carta dei dissesti con elementi morfologici*, in cui vanno riportati gli elementi morfologici dei dissesti, l'idrogeologia, le opere di difesa e di sistemazione, ecc., come da legenda allegata (scala 1:1000 - 1:5000);
3. *carta litotecnica*, in cui sono riportate le classi litologiche individuate con le rispettive caratteristiche di resistenza al taglio (scala 1:500 – 1:2000);
4. *carta delle aree omogenee*, in cui sono da riportare le diverse aree omogenee (scala 1:500 – 1:2000);
5. *carta della zonazione preliminare della pericolosità*, con la zonazione della pericolosità delle aree omogenee e delle zone di accumulo (scala 1:500 – 1:2000);
6. *carta della pericolosità finale*, con la zonazione della pericolosità delle aree omogenee e delle zone di accumulo (scala 1:2000);
7. *scheda colate* per ogni singola area omogenea;
8. *scheda frane* per ogni frana già avvenuta nell'area considerata.

SCHEDA PER IL CENSIMENTO DELLE FRANE

1. DATI GENERALI

Numero di riferimento (1)		**Data di compilazione**	
Rilevatore		**Tipo di rilevamento** (2)	
Coordinate Gauss-Boaga da CTR (punto più elevato coronamento frana)	**Latitudine** **Longitudine**		
Nome o località frana		**Comune**	
Comunità Montana		**Provincia**	
Bacino		**Sottobacino**	
Sigla CTR		**Nome CTR**	
Località minacciate direttamente (3)		**Comune**	
Località minacciate indirettamente (3)		**Comune**	
Data primo movimento (4)		**Data ultima riattivazione**	

2. DATI MORFOMETRICI (5)

NICCHIA	
Quota coronamento (m s.l.m.)	
Larghezza media (m)	
Larghezza massima (m)	
Altezza massima scarpata principale (m)	
Area (m^2) (6)	
Volume (m^3) (6)	

ALTRI DATI	
Area totale (m^2) (6)	
Lunghezza massima percorso colata o massi (m) (7)	
Giacitura media del versante (imm/incl)	
Forma del versante (8)	
Presenza di svincoli laterali (9)	

ACCUMULO	
Quota unghia (m s.l.m.)	
Quota testata (m s.l.m.)	
Larghezza media (m)	
Larghezza massima (m)	
Lunghezza media (m)	
Lunghezza massima (m)	
Spessore medio (m)	
Spessore massimo (m)	
Area (m^2) (6)	
Volume (m^3) (6)	
Accumulo in alveo	
Accumulo rimosso (10)	

3. TIPO DI MATERIALE

		NICCHIA				ACCUMULO
Roccia	**Unità** (11)					
	Litologia principale					
	Altre litologie					
	Alterazione (12)					
	Struttura della roccia (13)					
	Giacitura foliazione o stratificazione (imm/incl)					
	Giacitura sistemi discontinuità principali (imm/incl)	**1**	**2**	**3**	**4**	
	Classe granulometrica principale (A.G.I.)					
	Grado di cementazione (14)					
Terreno	**Unità** (11)					
	Facies (15)					
	Classe granulometrica principale (A.G.I.)					
	Alterazione (16)					
	Grado di cementazione (14)					

4. TIPO DI MOVIMENTO (17)

			1	2
Crollo	**in massa**			
	di singoli blocchi	**puntuale**		
		diffuso		
Ribaltamento				
Scivolamento	**rotazionale**			
	traslativo			
Superficie di movimento				
	planare			
	multiplanare			
	circolare			
	curvilinea			
	non determinabile			
Espansione laterale				
Colata				
Subsidenza				

5. PRESENZA DI ACQUA

	NICCHIA	ACCUMULO
Precipitazioni pre-sopralluogo (18)		
Assenza di venute d'aqua		
Umidità diffusa		
Acque stagnanti		
Stillicidio		
Rete di drenaggio sviluppata		
Ruscellamento diffuso		
Presenza di falda		
Profondità falda (m)		
Sorgenti (19)		
Portata (l/s)	**1**	**1**
	2	**2**
	3	**3**
	4	**4**
Comparsa di nuove sorgenti		
Scomparsa di sorgenti		

6. STATO DI ATTIVITÀ (20)

ATTIVA		Sintomi di attività				
		Rigonfiamenti				
		Cedimenti di blocchi				
		Superfici di movimento non alterate				
		Vegetazione assente o abbattuta				
		Variazioni portata acque				
		Lesioni a manufatti				
		Fratture aperte				
		Colate di detrito e/o terra al piede				
RIATTIVATA			Parzialmente		Totalmente	
		per:	Nicchia	Accumulo	Nicchia	Accumulo
		arretramento				
		estensione laterale				
		avanzamento				
INATTIVA QUIESCENTE						
INATTIVA STABILIZZATA						

7. PROBABILE EVOLUZIONE

	NICCHIA	ACCUMULO
Arretramento		
Estensione laterale		
Avanzamento		
Rimobilizzazione totale		
Stabilizzazione		

8. DANNI A ELEMENTI DEL TERRITORIO E A PERSONE

Accertati		Potenziali	Accertati		Potenziali
	Centro abitato			Acquedotti	
	Baite o case sparse			Fognature	
	Edifici pubblici			Oleodotti	
	Insediamenti produttivi			Argini o opere di regimazione	
	Ferrovie			Sbarramento parziale corsi d'acqua	
	Autostrade, S.S., S.P.			Sbarramento totale corsi d'acqua	
	Strade comunali o consortili			Terreni agricoli	
	Linee elettriche			Boschi	
	Condotte forzate			Allevamenti	
	Gallerie idroelettriche			.....	
	Dighe			.....	

Morti e dispersi		Feriti		Evacuati	

9. OPERE DI INTERVENTO ESEGUITE (E) O PROPOSTE (P)

	E	P		E	P		E	P
SISTEMAZIONI FORESTALI			INTERVENTI PASSIVI			DRENAGGIO		
Viminate / fascinate			Valli paramassi			Canalette di drenaggio		
Gradonature			Trincee paramassi			Gallerie drenanti		
Disgaggio			Rilevati paramassi			Trincee drenanti		
Gabbionate			Muri e paratie			Dreni		
Palificate			Sottomurazioni			Pozzi drenanti		
Rimboschimento			.....			.....		
.....			.....			.....		
SISTEMAZIONI IDRAULICHE			INTERVENTI ATTIVI IN PARETE			ALTRO		
Briglie e traverse			Spritz-beton			Sistemi di allarme		
Argini e difese spondali			Chiodature			Consolidamento edifici		
Svasi / pulizia alveo			Tirantature			Evacuazione		
Vasche di espansione			Imbragature			Demolizione infrastrutture		
.....			Iniezioni			Terre armate		
.....			Reti			Micropali		
.....			.....			Demolizione blocchi		
.....			.....			.....		

10. STRUMENTAZIONE DI MONITORAGGIO ESISTENTE (E) O PROPOSTA (P)

	E	P		E	P
Fessurimetri			Monitoraggio meteorologico		
Assestimetri			Monitoraggio idro-meteorologico		
Distometri			Monitoraggio topografico convenzionale		
Estensimetri			Monitoraggio topografico tramite GPS		
Inclinometri			Rete microsismica		
Piezometri			.....		

11. STATO DELLE CONOSCENZE

Raccolta di dati storici		Dati geoelettrici	
Rilievi geomeccanici		Dati sismici a rifrazione	
Analisi strutturali		Dati sismici a riflessione	
Indagini idrogeologiche		Relazione geologica	
Dati di perforazioni		Verifica di stabilità	
Analisi geotecniche di laboratorio		Relazione di sopralluogo tecnico	
Prove penetrometriche		Progetto di sistemazione di massima	
Prove scissometriche		Progetto esecutivo	
Prove pressiometriche			

12. NOTE

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

ALLEGATI (21)

Cartografia (CTR 1:10.000)	
Foto	
Sezioni	
Altro	

NOTE ESPLICATIVE PER LA COMPILAZIONE DELLA SCHEDA

1. Il numero (a libera scelta dell'utente) deve fare riferimento ad una specifica frana rappresentata nella cartografia allegata.
2. Indicare una delle seguenti categorie:
   diretto se effettuato direttamente in sito dal rilevatore,
   indiretto se effettuato a distanza o da foto aeree dal rilevatore,
   segnalazione se i dati sono stati acquisiti da altre fonti, senza un controllo sul terreno.
3. **Località minacciate direttamente** che giacciono sul corpo di frana o che possono essere investite dal materiale in movimento. **Località minacciate indirettamente** che possono essere coinvolte negli effetti secondari quali alluvionamento da onda di piena per sbarramento del corso d'acqua dovuti al franamento.
4. Data dell'inizio del movimento franoso, quando nota (anche in modo approssimativo). Le paleofrane vanno indicate in base a dati storici se disponibili, oppure va segnalato approssimativamente il secolo o la collocazione pre- o post- ultima fase di avanzata glaciale.
5. Per la terminologia dei parametri morfometrici si fa riferimento alla classificazione di Cruden & Varnes [1993]. Alle voci "media" di larghezza e lunghezza della nicchia e dell'accumulo va fornita una stima dei valori più rappresentativi (moda). Gli spessori medi e massimi dell'accumulo possono venire stimati o calcolati se vi sono a disposizione dati di sondaggio o altri dati quantitativi, in quest'ultimo caso specificare il tipo di dato utilizzato nelle note (campo 12).
6. Si fornisca una stima dei volumi e delle aree; nel caso in cui siano stati utilizzati per il calcolo dati quantitativi (es. da rilievi topografici) indicare nelle note (campo 12) il tipo di dato. Con area totale si intende l'intera area interessata dal dissesto, comprendente nicchia, accumulo ed eventuale zona di scorrimento. Nel caso in cui la scheda si riferisca a più colate di detrito coalescenti si indichi nel campo "dati morfometrici" (2) il volume totale di tutti gli accumuli, mentre nel campo "note" (12) si indichino, se conosciute, le volumetrie medie dei singoli eventi e/o dell'evento relativo all'ultima riattivazione.
7. Si intende la distanza massima raggiunta dal materiale in movimento (per i crolli il masso che ha raggiunto la massima distanza dal punto di distacco).
8. Si indichi: 1-concavo, 2-convesso, 3-concavo-convesso, 4-convesso-concavo, 5-planare, 6-terrazzato.
9. Si intende con "svincoli laterali": incisioni torrentizie, fratture persistenti, fasce cataclastiche, che bordano uno o entrambi i lati della frana. Si indichi nella scheda una delle seguenti voci, utilizzando la sigla relativa: d-lato destro; s-lato sinistro; e-entrambi i lati, guardando valle.
10. Nel caso in cui l'accumulo sia stato rimosso indicare la causa di rimozione: naturale (es. asportazione da parte di un corso d'acqua) o artificiale (es. asportazione con mezzi meccanici).
11. Si indichi: gruppo, formazione o membro per il sedimentario; complesso o falda per il basamento cristallino; allogruppo, alloformazione, allomembro per il Quaternario, a cui appartengono le litofacies presenti, come da cartografia ufficiale.
12. Si indichi una delle seguenti voci: inalterata, decolorata, decomposta.
13. Si indichi una delle seguenti voci: massiccia, stratificata, scistosa, a blocchi.
14. Si indichi una delle seguenti voci: assente, parziale, totale.
15. Si indichi una delle seguenti voci: glaciale, alluvionale, deltizio, lacustre-palustre, eolico, travertino, di versante, di accumulo di frana.
16. Si indichi una delle seguenti voci: fresco, debolmente alterato, moderatamente alterato, molto alterato.
17. Nella colonna 1 va indicato il movimento che si verifica per primo in ordine temporale o che si verifica alla quota più elevata in senso spaziale. Nella colonna 2 l'eventuale movimento successivo in ordine temporale o che si verifica a quota più bassa. Un esempio di frana con due tipologie di movimento è una colata di terra e detrito (colonna 2) che viene innescata da uno scivolamento (colonna 1).
18. Indicare se nei giorni precedenti il sopralluogo sulla frana si sono avute importanti precipitazioni.
19. Nella prima riga si indichi il numero delle sorgenti rilevate rispettivamente nella nicchia e nell'accumulo, che dovranno essere ubicate nella cartografia allegata. Nelle righe successive si indichino, quando note, le portate delle singole sorgenti.
20. Per definire lo stato di attività di una frana sono stati introdotti 4 termini, come di seguito definiti:
    attiva - che presenti uno o più dei sintomi di attività elencati in tabella;
    attiva-riattivata - per riattivazione parziale o totale di una frana precedentemente considerata inattiva;
    inattiva-quiescente - che può essere riattivata dalle sue cause originali,
    inattiva-stabilizzata - che non può essere riattivata dalle sue cause originali o che è stata protetta dalle sue cause originali da misure di stabilizzazione.
21. Tra gli allegati è considerato **indispensabile** uno stralcio cartografico del CTR alla scala 1:10.000, che delimiti l'area di frana con relativo numero di riferimento alla scheda. Altri allegati quali foto e sezioni possono comunque essere utili alla comprensione del dissesto. Nel campo Allegati si riporti un elenco sintetico.

SCHEDA COLATE

(Da compilare per ogni area omogenea).

Pendenza media (°)		
Granulometria modale		
Percentuale di limo e argilla nel sedimento		
Presenza di livelli a granulometria fine		
Spessore medio (m)		
Altezza H [da inserire in formula di GOVI *et al.,* 1985] (m)		
Caratteristiche geotecniche del terreno	Angolo di attrito (°)	
	Coesione (kPa)	
Profondità della falda acquifera (m)		
Portata sorgenti principali (l/s)		
Vegetazione	Assente	
	Erbacea	
	Arbustiva	
	Di alto fusto	
Sintomi di attivazione	Fratture aperte nel terreno	
	Rigonfiamenti in terreno o muri	
	Vegetazione d'alto fusto inclinata	
	Erosione accelerata al piede	
	Erosione laterale	

ALLEGATO III

Procedura pericolosità trasporto solido e/o in massa su conoidi alpini

Questa procedura è da utilizzarsi per le conoidi alpine interessate da trasporto solido e/o in massa (*bed load, debris flood, debris flow, debris torrent*) o per colate detritiche tipo *debris flow* e *debris avalanche* che possono innescarsi sui versanti anche in assenza di un edificio di conoide ben sviluppato sul fondovalle. Poiché non è possibile fare riferimento ad una metodologia codificata, si è preso spunto dai seguenti lavori: AA.VV. [1996], AULITZKY [1982], KELLERHALS & CHURCH [1990], CERIANI *et al.* [1998].
La procedura di zonazione dovrà essere preceduta da un'analisi storica, che permetta di avere un quadro spaziale e temporale dei fenomeni che interessano la conoide dando indicazioni sulla frequenza degli eventi, le variazioni delle caratteristiche dell'alveo e sull'incidenza antropica sulla conoide. Le analisi storiche comprendono:

- eventi alluvionali sulla conoide;
- localizzazione di aree e manufatti danneggiati, con interviste in loco;
- cartografie esistenti;
- divagazione dell'alveo in epoca storica;
- foto aeree riprese in tempi diversi.

Nell'analisi di eventi storici si consiglia di cercare informazioni dettagliate anche su eventi intensi ma non estremi che non hanno provocato gravi danni alle infrastrutture e/o alla popolazione, ma che possono fornire indicazioni su settori che potrebbero rivelarsi punti critici, come ad esempio zone di sovralluvionamento, ponti o attraversamenti che hanno creato sbarramenti temporanei.
A questa fase preliminare segue la caratterizzazione geomorfologica ed idraulica delle conoidi, utilizzando anche l'apposita scheda conoidi (allegato 7), attraverso i seguenti punti.

1. Analisi geologica e geomorfologica del bacino (da dati esistenti).
2. Analisi idrologica (da dati esistenti).
3. Individuazione e descrizione dei punti critici sulla conoide (sezioni ristrette, attraversamenti, curve, ecc.).
4. Valutazione del grado di incisione del canale principale nei vari settori della conoide.
5. Delimitazione dei settori con diversa influenza sul deflusso delle portate solido-liquide (restringimenti, diminuzione della pendenza, curve).
6. Individuazione delle zone che possono modificare, catturare o deviare il deflusso (paleoalvei, viabilità e attraversamenti di fondo alveo, bacini naturali di espansione, ecc.).
7. Censimento e valutazione in termini di efficacia e di efficienza delle opere idrauliche nel bacino e sulla conoide.
8. Censimento degli attraversamenti (ponti e passerelle) e valutazione della loro influenza sul deflusso.
9. Stima dei volumi massimi rimobilizzabili nel bacino (magnitudo).

Particolare attenzione andrà posta all'effetto sulla pericolosità delle opere di sistemazione idraulica e degli attraversamenti, come ad esempio:

- argini o scogliere realizzate nella zona di pertinenza fluviale (individuazione delle sponde naturali recenti) con notevole riduzione di quest'ultima;
- restringimento dell'alveo per cause antropiche nel settore mediano e distale della conoide;
- briglie poste poco a valle di attraversamenti con forte innalzamento del fondo d'alveo (sovralluvionamento) in prossimità della struttura;
- impossibilità che eventuali deflussi fuori alveo possano rientrare nel medesimo (ad esempio arginatura del settore medio-distale della conoide);

- piste di accesso all'alveo, a bassa pendenza, in direzione opposta alla corrente, che possono diventare direzioni preferenziali di esondazione;
- vasche di accumulo poste in zone a bassa pendenza, con presenza di opere di attraversamento all'entrata della vasca, di cui valutare l'eventuale capacità di stoccaggio;
- opere idrauliche (briglie e soglie) e/o ponti realizzati in prossimità dell'apice che possono determinare una deviazione del flusso o un pericoloso effetto diga.

Una grandezza di importante valutazione è il volume massimo di materiale detritico (magnitudo) rimobilizzabile durante un evento di trasporto in massa o misto su una conoide. I valori di magnitudo per i singoli bacini sono messi a disposizione da alcune regioni (Regione Lombardia). Nel caso si ritenga che i valori forniti non siano adeguati, è possibile rideterminare la magnitudo con i metodi di seguito citati, spiegando le motivazioni per cui si è proceduto a tale scelta. La magnitudo può essere valutata in due modi:

a) rilevando direttamente in dettaglio le aste principali del bacino e le zone di testata e stimando i volumi di materiale presenti [metodo di SCHEURINGER, 1988].
b) indirettamente mediante metodi empirici riportati nella letteratura tecnica (Tabella 1), integrati con i dati storici e con le osservazioni effettuate nei bacini in esame (riattivazione di grandi frane, erosioni di sponda e/o di fondo, presenza di sbarramenti idroelettrici e di opere di difesa idraulica). Nel caso in cui l'incertezza dei dati non permettesse la definizione di un valore accurato della magnitudo, può essere comunque utile indicare un campo di valori.

Tabella 1 - Alcuni metodi empirici per la valutazione della magnitudo (M), ricavati dalla bibliografia.

Riferimento bibliografico	Formula
BOTTINO, CRIVELLARI & MANDRONE [1996]	$\mathbf{M = 21241 * Ab^{0,28}}$ Dall'interpolazione di sei valori di volumi di colata misurati in occasione di eventi verificatisi nella zona di Ivrea nel 1993. Ab = area del bacino (km^2)
CROSTA, CERIANI, FRATTINI & QUATTRINI [2000]	$\mathbf{M = 1000\ K * Ab * Mb^{0,8} * Scl_c * I_F^{-2}}$ K = per fenomeni di *bed load* e *debris flood,* K = 5.4 per fenomeni di *debris flow* Ab = area del bacino (km^2) Mb = indice di Melton: $(H_{max} - H_{min})/Ab^{0,5}$ H_{max} = quota massima del bacino (km) H_{min} = quota minima del bacino (km) Scl_c = pendenza del collettore sul conoide (%) I_F = indice di frana (1: grandi frane e/o frane lungo la rete idrografica; 2: frane sui versanti; 3: frane piccole o assenti)
D'AGOSTINO *et al.* [1996]	$\mathbf{M1 = 39 * Ab * Scl^{1,5} * (I.G.) * (I.T.)^{-0,3}}$ $\mathbf{M2 = 36 * Ab * Scl^{1,5} * (I.G.) * (1 + C.S.)^{-1}}$ Ab = area del bacino (km^2) Scl = pendenza asta principale (%) I.G. = dipende dai litotipi costituenti il bacino I.T. = indice di trasporto basato sulla classificazione di Aulitzky C.S. = coefficiente di sistemazione
TROPEANO & TURCONI [1999]	$\mathbf{M = (0,542 * Ae + 0,0151) * 0,019 * h * tg\ \theta}$ Ae = area effettiva del bacino (km^2), per aree < 15 km^2 h = spessore medio del materiale mobilizzabile tg θ è la pendenza media del bacino
BIANCO [1999]	$\mathbf{M = 14000A * i^{(1.5-i)} * I.G.^{(1+0.1\ I.G.)} \pm 13000A^{0.6}}$ A = area del bacino (km^2) i = pendenza media dell'asta torrentizia del bacino I.G. = indice geologico che dipende dai litotipi costituenti il bacino (si veda D'Agostino)

Una volta determinata la magnitudo (M), la sezione di deflusso A (m^2) e l'area inondata B (m^2) possono essere calcolate secondo la formula empirica di SCHILLING & IVERSON [1997], applicabile per volumetrie maggiori di 50 000 m^3:

$$A = 0.05\ V^{2/3}\ B = 200V^{2/3}.$$

Un altro parametro da valutare è la portata di massima piena per diversi periodi di ritorno; anche in questo cè opportuno fare riferimento aidati pubblicati dalle Regioni o dalle Autorità di bacino. Come nel caso della magnitudo, in mancanza di dati o in caso essi non siano ritenuti validi, si potrà procedere al calcolo della portata utilizzando la formula del metodo razionale. Un altro parametro da valutare è la portata di picco di una colata, che può essere determinata tramite metodi diretti e indiretti.

Fra i metodi indiretti possono essere utilizzate le seguenti formule:

$$q = 200 / (S+28) + 0.6 \text{ [ANSELMO, 1985]}$$

dove q = portata specifica liquida in $m^3/s/km^2$ e S = area del bacino in km^2.

$$Q_{df} = QI*(C_X / C_X - C_{df}) \text{ [ARMANINI, 1996]}$$

dove Q_{df} = portata massima della colata, QI = portata massima liquida, C_{df} = concentrazione della colata e C_X= 0.65 ÷ 0.75. La concentrazione della colata (C_{df}) può, secondo TAKAHASHI [1991], essere calcolata assumendo che per pendenze sufficientemente elevate (>20°) la concentrazione della colata sia

$$C_{df} \cong 0.9*C_X, \text{ per cui risulta } Q_{df} \cong 10*QI.$$

In caso di pendenze minori, la concentrazione della colata viene assunta pari a quella della colata satura, in condizioni di movimento incipiente.

In alternativa al metodo morfologico precedentemente descritto, è possibile utilizzare per le valutazioni di pericolosità su conoide anche modellazioni numeriche di sviluppo di una colata detritica (ad esempio FLO-2D). Tali applicazioni saranno possibili sono in presenza di dati di partenza che siano stati tarati su precedenti eventi verificatisi lungo l'asta torrentizia.

In particolare risultano normalmente di difficile valutazione i parametri legati alla reologia della colata, che possono essere tarati in modo appropriato solo analizzando in dettaglio eventi precedenti. Allo stesso modo dovranno essere tarati i valori di magnitudo e di estensione delle aree invase dalla colata, valutata la velocità dell'evento e considerati gli spessori del materiale depositato, etc.

Inoltre è necessario utilizzare un modello digitale del terreno DTM di dettaglio (da 1x1 a 5x5 m) che permetta una miglior precisione nella delimitazione delle aree che possono essere invase da colate detritiche, nonché inserire nel modello le opere di difesa del suolo presenti (se non già riportate nel DTM).

Tutte le informazioni raccolte concorrono alla redazione della carta di pericolosità, che comprende le seguenti classi.

1. Pericolosità molto bassa (H1): area che per caratteristiche morfologiche ha basse o nulle probabilità di essere interessata dai fenomeni di dissesto.
2. Pericolosità bassa (H2): area mai interessata nel passato da fenomeni alluvionali documentati su base storica o area protetta da opere di difesa idraulica ritenute idonee anche in caso di eventi estremi con basse probabilità di essere interessata da fenomeni di dissesto.
3. Pericolosità media (H3): area interessata nel passato da eventi alluvionali e da erosioni di sponda documentati su basi storiche; area con moderata probabilità di essere esposta a fenomeni alluvionali (esondazione) ed a erosioni di sponda. In particolare si possono avere deflussi con altezze idriche ridotte (massimo 20-30 cm) e trasporto di materiali sabbioso-ghiaiosi.
4. Pericolosità alta (H4): area con alta probabilità di essere interessata da fenomeni di erosioni di sponda e di trasporto in massa e/o di trasporto solido con deposizione di ingenti quantità di materiale solido, con danneggiamento di opere e manufatti.
5. Pericolosità molto alta (H5): comprende l'alveo attuale con le sue pertinenze ed eventuali paleoalvei riattivabili in caso di piena ed eccezionalmente porzioni di conoide.

In una valutazione preliminare della pericolosità o per conoidi piccole (< 0,1 km^2) possono essere utilizzate tre classi così accorpate: pericolosità bassa (H1 + H2 - verde), pericolosità media (H3 - giallo), pericolosità alta (H4 + H5 - rosso).
Le varie fasi dello studio si sviluppano sui seguenti punti.

1. **Inquadramento geologico-geomorfologico** del bacino con particolare riferimento ai fenomeni di dissesto presenti.
2. **Analisi idrologica** (da dati esistenti) volta soprattutto alla stima della portata massima ed alle massime intensità di pioggia.
3. **Commenti** su: punti critici, analisi storica degli eventi alluvionali, divagazioni dell'alveo, ecc.
4. **Discussione dei risultati e conclusioni.**

Allegati alla relazione sono previsti i seguenti elaborati cartografici e schede:

1. *carta di inquadramento geologico-geomorfologica* in scala 1:10000 (1:25.000 per i bacini > 30 km^2) che può essere desunta da dati preesistenti a scala adeguata;
2. *carta geomorfologia della conoide*, in scala 1:2000 o 1:5000 (con indicazione dello spessore delle colate individuate e/o delle aree interessate da eventi storici, del diametro medio e massimo del materiale presente in alveo e sulla conoide, delle direttrici di deflusso e delle opere idrauliche presenti);
3. *carta della pericolosità della conoide*, in scala 1:2000 o 1:5000;
4. *scheda conoide*;
5. *scheda frane* secondo i modelli suggeriti dai Servizi Geologici regionali per le frane ovvero dalle Autorità di bacino, presenti nel bacino idrografico, che possono fornire un consistente apporto detritico in alveo.

SCHEDA CONOIDI

Id conoide		Data compilazione		Rilevatore	

Nome località		Nome torrente	
Comuni		Provincia	
C.T.R.			

Dati morfometrici della conoide

Superficie (km^2)		Larghezza massima (m)	
Volume (m^3)		Pendenza media (%)	
Quota massima (m s.l.m.)		Pendenza media alveo (%)	
Quota minima (m s.l.m.)		Lunghezza alveo (m)	
Lunghezza massima (m)		Indice di Melton	

Dati morfometrici del bacino

Superficie (km^2)		Pendenza media alveo principale (%)	
Quota minima (m s.l.m.)		Lunghezza totale rete idrografica (km)	
Quota massima (m s.l.m.)		Densità di drenaggio (km/km^2)	
Lunghezza alveo principale (km)		Indice di Melton	

			FOTO
Dimensione massima del materiale (m^3)	Apice		
	Zona mediana		
	Zona distale		

Presunta migrazione del canale attivo					
sin-centro		sin-dx		dx-sin	
dx-centro		centro-dx		centro-sin	

Sviluppo del collettore rispetto all'apice	
	Bisettrice
	Destra
	Sinistra

Dinamica dell'alveo			
Apice	Mediana	Distale	
			Approfondimento
			Equilibrio
			Innalzamento

Caratteristiche della soglia	
	In roccia
	In materiale incoerente
	Mista

Caratteristiche dell'apice	
Pendenza tratto a monte (%)	
Pendenza tratto a valle (%)	

Presenza di uno o più aleoalvei	
	Sì
	No

Caratteristiche del canale attivo sul conoide

	Apice	FOTO	Zona mediana	FOTO	Zona distale	FOTO
Canale poco inciso						
Canale inciso						
Canale pensile						
Canale pensile per intervento antropico						
Canale regimato con opere di difesa						
Torrente canalizzato e/o permeabilizzato						
Alveo tombinato						
Canale assente						

Opere presenti sulla conoide

E = Efficiente I = Inefficiente

Briglia	Quota (m)	E	E	E	E	E	E	E	E
Soglia	Quota (m)	E	E	E	E	E	E	E	E
Traversa	Quota (m)	E	E	E	E	E	E	E	E
Repellente	Quota (m)	E	E	E	E	E	E	E	E

Argini	Quota (m)		Quota (m)		Quota (m)	
	Lunghezza (m)	E	Lunghezza (m)	E	Lunghezza (m)	E
	Lunghezza (m)	I	Lunghezza (m)	I	Lunghezza (m)	I
Difese spondali	Quota (m)		Quota (m)		Quota (m)	
	Lunghezza (m)	E	Lunghezza (m)	E	Lunghezza (m)	E
	Lunghezza (m)	I	Lunghezza (m)	I	Lunghezza (m)	I
Selciatone di fondo	Quota (m)		Quota (m)		Quota (m)	
	Lunghezza (m)	E	Lunghezza (m)	E	Lunghezza (m)	E
	Lunghezza (m)	I	Lunghezza (m)	I	Lunghezza (m)	I
Scogliere	Quota (m)		Quota (m)		Quota (m)	
	Lunghezza (m)	E	Lunghezza (m)	E	Lunghezza (m)	E
	Lunghezza (m)	I	Lunghezza (m)	I	Lunghezza (m)	I
Tombinatura	Quota (m)		Quota (m)		Quota (m)	
	Lunghezza (m)	E	Lunghezza (m)	E	Lunghezza (m)	E
	Lunghezza (m)	I	Lunghezza (m)	I	Lunghezza (m)	I

Vasca di espansione (m^3)	E	E	E

Punti critici sulla conoide

	FOTO		Quota
Ponti, attraversamenti		1	
		2	
		3	
		4	

	FOTO		Quota
Briglie e/o opere idrauliche che interferiscono con i deflussi		1	
		2	
		3	
		4	

	FOTO		Quota
Sezioni obbligate, sezioni ristrette, curve		1	
		2	
		3	
		4	

	FOTO		Quota
Possibili superamenti di argine		1	
		2	
		3	
		4	

	FOTO		Quota
Possibili rotture di argine		1	
		2	
		3	
		4	

Note

Indicazioni di intervento

Gabbionate		Muri di protezione		Demolizioni	
Pulizia alveo		Impermeabilizz. dell'alveo		Rilevati	
Tombinature		Briglie		Briglie selettive	
Soglie		Difese spondali/argini		Scogliere	
Repellenti		Sistemazione frane in atto		Vasche di espansione	
		Delocalizz. infrastrutture			

Eventi storici				
Localizzazione	Attendibilità	Data	Danni	Fenomeno

Note

ISTRUZIONI PER LA COMPILAZIONE DELLA SCHEDA CONOIDI

PRINCIPALE

- Id conoide - indicare un numero di riferimento progressivo (campo obbligatorio).
- Nome torrente - indicare sempre il nome del torrente che da origine alla conoide (campo obbligatorio).
- Data di compilazione - indicare la data della compilazione della scheda (campo obbligatorio).
- Rilevatore - indicare il nome della persona che ha raccolto i dati.
- Nome località - indicare la località più vicina alla conoide (presa dalla Carta Tecnica Regionale, CTR, scala 1:10000) e/o il nome locale del luogo (campo obbligatorio).
- Comuni - nome del Comune o Comuni che contengono la conoide.
- Sezioni CTR (cod sezione) - indicare la sigla della/e sezione della Carta Tecnica Regionale scala 1:10000.

CONOIDE

- Superficie (km^2) - indicare la superficie totale dell'area della conoide in chilometri quadrati.
- Volume (m^3) - indicare il volume, in metri cubi, del materiale costituente la conoide.
- Lunghezza max (m) - indicare la lunghezza (distanza longitudinale) massima in pianta della conoide, in metri.
- Larghezza max (m) - indicare la larghezza (distanza trasversale) massima in pianta della conoide, in metri.
- Quota min (m s.l.m.) - indicare la quota minima s.l.m della conoide.
- Quota max (m s.l.m.) - indicare la quota massima s.l.m. della conoide, coincidente con l'apice.
- Lunghezza alveo (m) - indicare la lunghezza in pianta dell'alveo nel tratto contenuto all'intemo della conoide.
- Pendenza media - indicare la pendenza media, in percentuale, del conoide, misurata preferibilmente sulla bisettrice.
- Pendenza media alveo - indicare la pendenza media, in percentuale, del corso d'acqua generatore del conoide.
- Indice Melton - indicare il valore ottenuto calcolando l'indice di Melton dato dal rapporto tra la differenza tra quota massima e minima (H_{max}, H_{min}), espresse in chilometri, della conoide e la radice quadrata dell'area (A) della conoide, espressa in chilometri quadrati ($H_{max} - H_{min}/A^{1/2}$).
- Dimensione materiale apice (m^3) - indicare la dimensione massima, in metri cubi, del materiale presente nella zona apicale della conoide.
- Dimensione materiale sett. mediano (m^3) - indicare la dimensione massima, in metri cubi, del materiale presente nel settore mediano della conoide.
- Dimensione materiale zona distale (m^3) - indicare la dimensione massima, in metri cubi, del materiale presente nella zona distale della conoide.
- Presunta migrazione del canale attivo - indicare, se è presente, il presunto movimento del canale attivo considerando la posizione di partenza e quella possibile d'arrivo: centro destra, centro sinistra, destra centro, destra sinistra, sinistra centro, sinistra destra.
- Dinamica dell'alveo - indicare lo stato dinamico dell'alveo del corso d'acqua: approfondimento, equilibrio, innalzamento.
- Presenza di paleoalvei - indicare la presenza di evidenti alvei relitti sulla conoide.
- Canale apice - indicare la situazione attuale del canale nella zona apicale della conoide in base alle seguenti indicazioni: canale poco inciso, canale inciso, canale pensile, canale pensile per interventi, canale regimato con opere.
- Canale settore mediano - indicare la situazione attuale del canale nella zona mediana della conoide in base alle seguenti indicazioni: canale poco inciso, canale inciso, canale pensile, canale pensile per interventi, canale regimato con opere.
- Canale zona distale - indicare la situazione attuale del canale nella zona distale della conoide in base alle seguenti indicazioni: canale poco inciso, canale inciso, canale pensile, canale pensile per interventi, canale regimato con opere.
- Sviluppo alveo - indicare la posizione del canale: lungo la bisettrice, verso destra, verso sinistra.
- Pendenza tratto monte apice - indicare la pendenza media dell'alveo a monte dell'apice espressa in percentuale, misurato su un tratto di 200-500 m, in base alle caratteristiche morfologiche del luogo.
- Pendenza tratto valle apice - indicare la pendenza dell'alveo a valle dell'apice espressa in percentuale.
- Caratteristiche soglia - indicare la tipologia del materiale che costituisce la soglia: roccia, mista, materiale incoerente.

OPERE CONOIDE

- Id opera - indicare il numero progressivo per ogni opera presente sulla conoide.
- Tipo opera - indicare il tipo di opera presente sulla conoide: briglia, soglia, difesa spondale. scogliera, argine, repellente, vasca ad espansione (m^3), tombinatura.
- Quota - indicare la quota, in metri s.l.m., cui è posizionata l'opera sulla conoide. Per le difese spondali in genere, indicare la quota massima.
- Efficiente - indicare se l'opera si presenta in condizioni di efficienza.
- Lunghezza - indicare, per le opere rettilinee longitudinali, la lunghezza della parte di opera efficiente e quella inefficiente, in modo tale che la loro somma coincida con la lunghezza totale dell'opera stessa. Es: argine di lunghezza totale di m 500 di cui 300 m efficienti e 200 m non efficienti. Nella scheda si indica:

Argini		quota (m)		
		lunghezza (m)	300	E
		lunghezza (m)	200	I

BACINO

- Id bacino - indica il numero progressivo dei bacini corrispondenti alle conoidi (in genere l'id conoide coincide con l'id bacino).
- Superficie bacino (km^2) - indicare la superficie totale dell'area, in chilometri quadrati.
- Quota min (m) - indicare la quota minima s.l.m. del bacino.
- Quota max (m) - indicare la quota massima s.l.m. del bacino.
- Quota media (m) - indicare la quota media, tra quella massima e minima, del bacino.
- Lunghezza alveo principale (km) - indicare la lunghezza, in pianta, del corso d'acqua principale del bacino.
- Pendenza media alveo principale (%) - indicare la pendenza media, in percentuale, del corso d'acqua principale del bacino.
- Lunghezza totale rete idrografica (km) - indicare la somma totale del reticolo idrografico.
- Densità di drenaggio (km/km^2) - indicare il rapporto tra la lunghezza totale della rete idrografica (km) e la superficie totale del bacino (km^2).
- Indice Melton - indicare il valore ottenuto calcolando l'indice di Melton sul bacino, dato dal rapporto tra la differenza tra quota massima e minima (H_{max}, H_{min}), espresse in chilometri, del bacino e la radice quadrata dell'area (A) del bacino, espressa in chilometri quadrati ($H_{max} - H_{min}/A^{1/2}$).

OPERE BACINO

- Id opera bacino - indicare il numero progressivo delle opere presenti sul bacino.
- Tipo opera - indicare il tipo di opera presente sul bacino: briglia, soglia, traversa, difesa spondale, scogliera, argine, repellente, vasca ad espansione (m^3), tombinatura.
- Quota (m) - indicare la quota, in metri s.l.m., a cui è posizionata l'opera sul bacino. Per le difese spondali in genere, indicare la quota massima.
- Efficiente - indicare se l'opera si presenta in condizioni di efficienza.
- Lunghezza (m) - indicare, soprattutto per le opere rettilinee longitudinali, la lunghezza totale dell'opera stessa in metri.

PUNTI CRITICI

- Id critico - indicare il numero progressivo dei punti critici (vd. "Tipo Punto") presenti sulla conoide.
- Tipo punto - indicare la tipologia del punto critico sulla conoide tra le seguenti possibilità: ponti, attraversamenti; briglie, opere idrauliche: sezioni obbligate/ristrette, curve; superamenti di argine; rotture di argine.
- Quota (m) - indicare la quota, in metri s.l.m., del punto critico sulla conoide.

EVENTI STORICI

- Id punti - indicare il numero progressivo di ogni punto in cui si è verificato un fenomeno di dissesto idrogeologico. Lo stesso evento alluvionale può interessare più punti; ad esempio: il ponte a quota .., le case in località ..., la strada al Km. Tutti questi "punti" devono essere riportati singolarmente sulla scheda.
- Localizzazione - indicare il punto esatto o più prossimo al luogo in cui è avvenuto l'evento.
- Attendibilità - indicare rispettivamente alta, media o bassa se la localizzazione indica rispettivamente un punto preciso, approssimato (<500 m) od indicativo (>500 m).
- Data evento - inserire la data dell'evento secondo la completezza dell'informazione (giorno, mese, anno mese, anno anno).
- Tipo danni - inserire il danno subìto, relativo ad un luogo ed a un dato evento, compreso nelle seguenti categorie: centro abitato; case sparse; scuole, ospedali; strada statale; strada provinciale; strada comunale; carrozzabile non asfaltata, ferrovia ponti; linee elettriche, telefoniche, opere di regimazione idrogeologica; impianti industriali; acquedotti, fognature; tenti; vittime; danni generici.
- Tipo fenomeno - indicare il tipo di fenomeno verificatosi in quell'evento, se si tratta di colate detritiche (debris flow), colate torrentizie (debris torrent) oppure prevalenti portate liquide (bed load).

INTERVENTI

- Elenco interventi - indicare gli interventi consigliati sulla conoide e sul bacino: briglie, soglie, difesa spondali, scogliere, argini, repellenti, vasca ad espansione, gabbionate, pulizia alveo, impermeabilizzazione alveo, demolizioni, delocalizzazione infrastrutture, sistemazione frana in atto, briglie selettive, consolidamento briglie esistenti.

IMMAGINI

Inserire le immagini.

NOTE

Indicare ogni informazione suppletiva ed esplicativa ritenuta utile.

ALLEGATO IV

Procedura pericolosità generata da scivolamenti

All'interno di questa categoria ricadono gli scivolamenti, scivolamenti-colate e colate con spessori superiori ai 2 metri e con volumetrie superiori ai 1000 m^3. La maggior parte di questi fenomeni si manifestano come riattivazioni di frane esistenti e solo in pochi casi come frane di neoformazione.
La procedura proposta si struttura in due parti: la prima prende in considerazione le frane già avvenute, la seconda le aree in cui non sono attualmente conosciute frane.
Le frane esistenti vanno classificate in base al loro stato di attività, definito utilizzando la cartografia PAI o IFFI esistente, che andrà comunque controllata con indagini sul terreno, raggruppandole in:

- attive - attualmente in movimento o mossesi nell'ultimo ciclo stagionale;
- quiescenti - riattivabili dalle loro cause originali tuttora esistenti;
- inattive - non più influenzate dalle loro cause originali (ove note);
- relitte - sviluppatesi in condizioni geomorfologiche e climatiche considerevolmente diverse dalle attuali.

Per l'attribuzione della pericolosità ci si basa sulla precedente classificazione di attività secondo il seguente schema:

- attiva - pericolosità H5;
- quiescente - pericolosità H4 se vi sono stati movimenti negli ultimi 10 anni, pericolosità H3 se non vi sono stati movimenti negli ultimi 10 anni;
- inattiva - pericolosità H2;
- relitta - pericolosità H1.

Sovente capita che una frana (inattiva o quiescente) si riattivi parzialmente; in questo caso va delimitata la porzione riattivata e ad essa va attribuito il valore di pericolosità 5.
Inoltre può anche succedere che una frana inattiva o quiescente al momento dell'analisi mostri una serie di indizi che possano indicare un'imminente riattivazione come ad esempio:

- carico del versante per motivi naturali o antropici;
- scarico laterale e/o al piede per erosione naturale o scavi antropici;
- *soil-slips* e movimenti superficiali sul corpo di frana;
- variazione ubicazione e portata sorgenti.

Se almeno una queste condizioni viene osservata, il valore di pericolosità deve essere aumentato di 1.
Per quanto riguarda le aree in cui non sono attualmente conosciute frane, si procede a suddividere il territorio studiato in zone omogenee in funzione di litologia e pendenza.
Le litologie vengono raggruppate in tre classi:

1. a prevalente componente argillosa;
2. ad alternanze o mescolanze di argille e rocce competenti;
3. a prevalente componente arenacea e/o calcarea o di altre rocce competenti.

Anche le aree che interessano esclusivamente i depositi superficiali andranno zonate a seconda delle differenti distribuzioni granulometriche presenti. In particolare, dovrà essere prevista una classe per i depositi la cui granulometria sia composta da più del 25% di frazione argilloso-limosa o se sono rilevabili orizzonti argilloso-limoso continui di spessore almeno centimetrico.
Per quanto riguarda la pendenza si devono individuare almeno 3 classi; l'ampiezza delle classi va scelta in funzione delle caratteristiche morfologiche dell'area di studio. Nel caso in cui una prima attribuzione delle classi di pendenza non permetta la delimitazione di un numero significativo di aree omogenee, un

criterio di scelta delle classi è quello di considerare le pendenze delle aree in frana. Vanno considerate tutte le frane presenti e calcolate le pendenze degli accumuli e del pendio preesistente alla frana; i valori modali delle due popolazioni di dati possono essere utilizzati come limiti inferiore e superiore delle classi di pendenza.
Per ciascuna delle aree omogenee ricavate dall'intersezione di queste classi si effettua un'analisi di stabilità utilizzando il metodo più appropriato alla situazione geomeccanica presente. I parametri geotecnici utilizzati nell'analisi dovranno corrispondere alle condizioni più appropriate a valle di un'analisi parametrica, tenuto conto della stratigrafia e delle eventuali sovrappressioni idrauliche.
A ciascuna area omogenea viene quindi assegnato un valore di pericolosità preliminare secondo il seguente schema:

Fs = 1,40 - 2,00 - pericolosità preliminare = H2,
Fs = 1,20 - 1,40 - pericolosità preliminare = H3,
Fs = 1,00 - 1,20 - pericolosità preliminare = H4.

Nel caso si valuti che un fenomeno franoso potenziale interessi un intero versante, coinvolgendo più aree omogenee, l'analisi di stabilità andrà effettuata, con i metodi sopra descritti, sull'intero versante e ad esso andrà attribuito il valore di pericolosità risultante.
Per valutare la pericolosità finale dell'area vanno prese in considerazione le possibili concentrazioni d'acqua.
Tali concentrazioni possono essere legate principalmente a:

- livelli argillosi o variazioni di permeabilità nel terreno;
- interventi antropici (muretti a secco, canalette, tornanti stradali, fossi, scarichi, etc.).

Se viene verificata almeno una di queste condizioni, va delimitata la zona di influenza del fenomeno in base alla morfologia del pendio. In questa zona la pericolosità preliminare andrà aumentata di uno rispetto a quella dell'area omogenea nella quale si situa.
Il passo successivo riguarda le opere di sistemazione delle aree in frana che vanno prese in considerazione per la valutazione della pericolosità finale. Data la diversità delle tipologie di opere, esse andranno esaminate caso per caso (per ogni frana e per ogni opera) ed andranno valutate la loro efficacia e la loro efficienza (stato di manutenzione). Per ciascuna frana gli effetti delle opere presenti saranno sommati e valutati nel loro insieme, verificando anche eventuali interazioni negative. Nel caso in cui l'effetto globale delle opere venga valutato positivamente, il valore di pericolosità andrà diminuito di 1.
I passaggi sopra descritti permettono di calcolare la pericolosità finale.
Nel caso in cui un'area in frana classificata con pericolosità H4 o H5, sia confinante con aree omogenee a pericolosità finale bassa (H1 o H2), vanno delimitate, in base alla morfologia, le zone interessate da possibile ampliamento della frana, sia in nicchia, sia lateralmente. A queste zone deve essere attribuito un valore di pericolosità intermedio (H3 o H4). Inoltre nelle zone sottostanti al piede di una frana classificata a pericolosità 4H o 5H, andrà definita, con criteri morfologici, una zona di possibile espansione a cui va attribuito un valore inferiore di 1 a quello della frana stessa. La stessa operazione va effettuata anche nel caso in cui un'area omogenea ad elevata pericolosità sia sovrastante ad un'altra area omogenea a bassa pericolosità.
Inoltre, nel caso in cui l'area di accumulo della colata interessi depositi di fondovalle sciolti, a granulometria fine e saturi, la stessa andrà ampliata per tenere conto di eventuali fenomeni di liquefazione.
Le varie fasi dello studio andranno descritte in una relazione geologica che deve sviluppare i seguenti punti.

1. **Inquadramento geologico-geomorfologico:** geologia e geomorfologia di un intorno significativo dell'area in esame; dati esistenti sulle frane già avvenute; dati sulla piovosità.
2. **Caratterizzazione delle aree omogenee:** descrizione accurata delle litofacies degli ammassi rocciosi e dei depositi superficiali; valutazione dei parametri di resistenza al taglio e della granulometria dei depositi superficiali; scelta delle classi di pendenza; situazione idrogeologica del versante con descrizione delle eventuali variazioni di permeabilità.

3. **Determinazione della pericolosità:** motivazioni della scelta del metodo di analisi di stabilità e sua descrizione; descrizione delle sorgenti e delle zone di concentrazione d'acqua.
4. **Discussione dei risultati e conclusioni.**

Allegati alla relazione sono previsti i seguenti elaborati cartografici e schede:

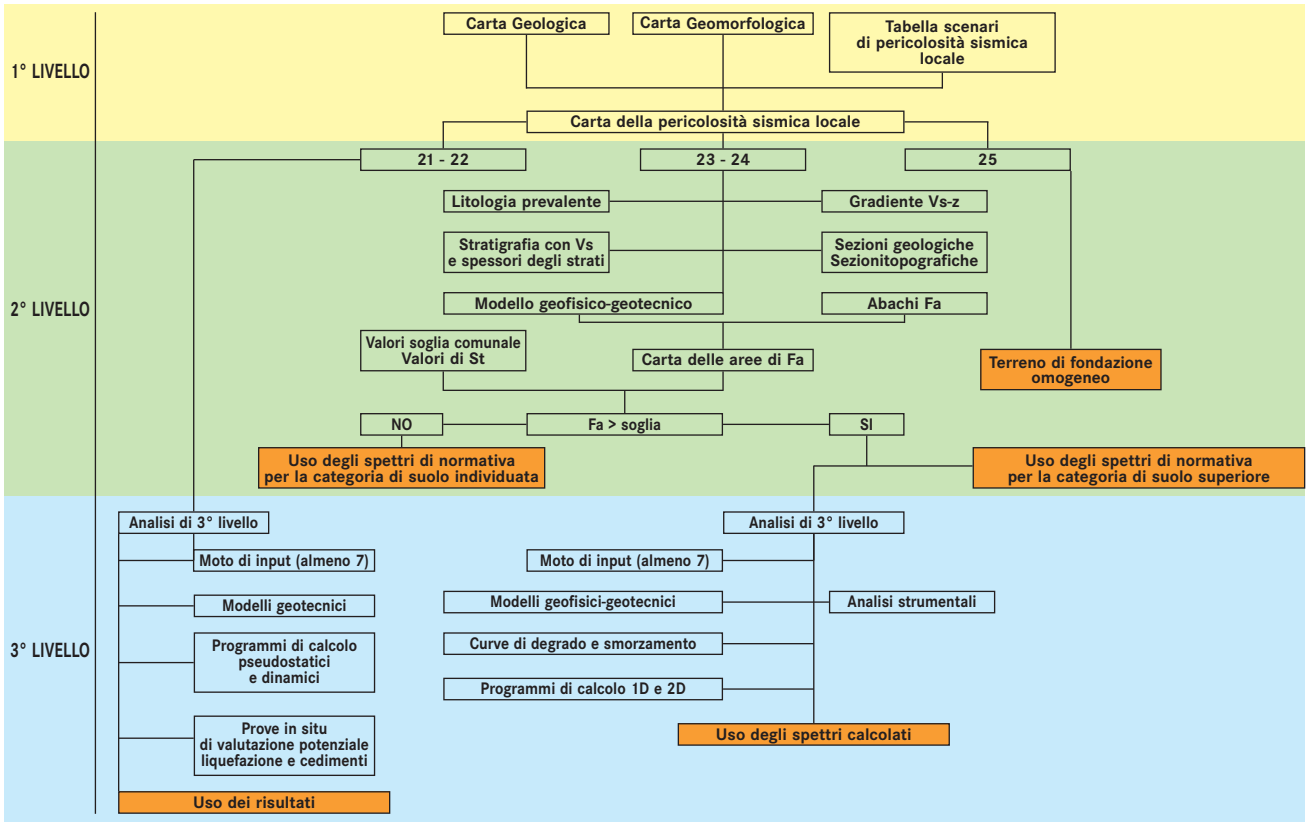
1. *carta di inquadramento geologico-geomorfologica*, con unità geologiche e principali elementi strutturali e geomorfologici (scala 1:10000) che può essere desunta da dati preesistenti a scala adeguata;
2. *carta dei dissesti con elementi morfologici*, in cui vanno riportate le frane esistenti, gli elementi morfologici significativi, l'idrogeologia, le opere di difesa e di sistemazione, ecc., allegata (scala 1:2000 - 1:5000);
3. *carta delle aree omogenee e delle aree in frana*, in cui sono da riportare le diverse aree omogenee e le aree in frana classificate in base alla loro attività (scala 1:2000 – 1:5000);
4. *carta della pericolosità preliminare*, con l'attribuzione della pericolosità alle aree omogenee (scala 1:2000-1:5000);
5. *carta della pericolosità finale*, con l'attribuzione dei valori finali di pericolosità (scala 1:2000 – 1:5000);
6. *scheda frane* per ogni frana già avvenuta nell'area considerata.

ALLEGATO V

Procedura di verifica di pericolosità sismica, microzonazione e analisi di risposta sismica locale

Le procedure sono organizzate con una struttura modulare che si presta ad una continua e graduale implementazione ed aggiornamento.
La metodologia prevede tre livelli di approfondimento con grado di dettaglio in ordine crescente.
La procedura di valutazione prevede tre livelli di approfondimento organizzati come da figura 1 che mostra il diagramma di flusso, che illustra i dati necessari e i percorsi da seguire.

Figura 1 - Diagramma di flusso dei dati necessari e dei percorsi da seguire nei tre livelli di indagine.



I tre diversi livelli di approfondimento prevedono:

Determinazione dei valori di base

Consiste nel ricavare i parametri di pericolosità sismica di base di cui alla mappa di pericolosità nazionale pubblicata dall'INGV, (http//esse1.mi.ingv.it) nonché i valori di accelerazione massima attesa al sito (se trattasi di un intervento puntuale specifico) in funzione dello stato limite di progetto.

1° LIVELLO

Consiste in un approccio di tipo qualitativo e costituisce lo studio propedeutico ai successivi livelli di approfondimento; è un metodo empirico che trova le basi nella continua e sistematica osservazione diretta degli effetti prodotti dai terremoti Il metodo permette l'individuazione delle zone ove i diversi

effetti prodotti dall'azione sismica sono, con buona attendibilità, prevedibili, sulla base di osservazioni geologiche e sulla raccolta dei dati disponibili per una determinata area, quali la cartografia topografica di dettaglio, la cartografia geologica e dei dissesti (a scala 1:10.000 e 1:2.000) e i risultati di indagini geognostiche, geofisiche e geotecniche già svolte e che saranno oggetto di un'analisi mirata alla definizione delle condizioni locali (spessore delle coperture e condizioni stratigrafiche generali, posizione e regime della falda, proprietà indice, caratteristiche di consistenza, grado di sovraconsolidazione, plasticità e proprietà geotecniche nelle condizioni naturali, ecc.). Perciò, salvo per quei casi in cui non siano disponibili informazioni geotecniche di alcun tipo, nell'ambito degli studi di 1° livello non sono necessarie nuove indagini geotecniche.
Lo studio consiste nella raccolta dei dati esistenti e nella redazione di un'apposita cartografia a scala 1:10.000 - 1:2.000 rappresentata dalla:

- *carta geologica con le relative sezioni*, in cui viene rappresentato il modello geologico e tettonico dell'area, le formazioni, le discontinuità e i lineamenti tettonici in essa presenti;
- *carta geomorfologica*, in cui vengono distinte le varie forme e i processi (dinamica dei versanti, dinamica fluviale, etc.) in atto, quiescenti o relitti presenti nell'area in esame;
- *carta della pericolosità sismica locale (PSL)*, derivata dalle precedenti carte di base, in cui viene riportata la perimetrazione areale delle situazioni tipo Z1, Z2, Z4 e gli elementi lineari delle situazioni tipo Z3, Z5, in grado di determinare gli effetti sismici locali (Tabella 1). In particolare per lo scenario Z3a si evidenzierà il ciglio della scarpata, per lo scenario Z3b la linea di cresta sommitale e per lo scenario Z5 il limite di contatto tra i litotipi individuati. Gli scenari Z1 e Z2 nell'analisi di 1° livello sono evidenziati sulla base del fenomeno prioritario che li caratterizza, quali fenomeni di instabilità e liquefazione e/o cedimenti: si sottolinea che le prescrizioni da assegnare a questi scenari in fase di pianificazione riguardano, oltre al fenomeno prioritario, anche i fenomeni di possibile amplificazione sismica che dovranno essere valutati in fase di progettazione sulla base degli interventi adottati per risolvere le problematiche prioritarie.

Tabella 1 - Scenari di pericolosità sismica locale.

Sigla	Scenario pericolosità sismica locale	Effetti
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.) Zone con depositi granulari fini saturi	Cedimenti e/o liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (comprese le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

La carta della pericolosità sismica locale rappresenta il riferimento per l'applicazione dei successivi livelli di approfondimento:

- il 2° livello permetterà la caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi e l'individuazione, nell'ambito degli scenari qualitativi suscettibili di amplificazione (zone Z3 e Z4), di aree in cui la normativa nazionale risulta sufficiente o insufficiente a tenere in considerazione gli effetti sismici;
- il 3° livello permetterà sia la caratterizzazione quantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi per le sole aree in cui la normativa nazionale risulta inadeguata, sia la quantificazione degli effetti di instabilità dei versanti (zone Z1) e dei cedimenti e/o liquefazioni (zone Z2).

Non è necessaria la valutazione quantitativa a livelli di approfondimento maggiore dello scenario inerente le zone di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse (zone Z5), in quanto tale scenario esclude la possibilità di costruzioni a cavallo dei due litotipi. In fase progettuale tale limitazione può essere rimossa qualora si operi in modo tale da avere un terreno di fondazione omogeneo.

2° LIVELLO

Il 2° livello si applica a tutti gli scenari qualitativi suscettibili di amplificazioni sismiche (morfologiche Z3 e litologiche Z4). La procedura consiste in un approccio di tipo semiquantitativo e fornisce la stima quantitativa della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di amplificazione (*Fa*); gli studi sono condotti con metodi quantitativi semplificati, validi per la valutazione delle amplificazioni litologiche e morfologiche e sono utilizzati per zonare l'area di studio in funzione del valore di *Fa.*
Il valore di *Fa* si riferisce agli intervalli di periodo tra 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s: i due intervalli di periodo nei quali viene calcolato il valore di *Fa* sono stati scelti in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie presenti più frequentemente nel territorio regionale; in particolare l'intervallo tra 0.1-0.5 s si riferisce a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide, mentre l'intervallo tra 0.5-1.5 s si riferisce a strutture più alte e più flessibili.
La procedura di 2° livello fornisce, per gli effetti litologici, valori di *Fa* per entrambi gli intervalli di periodo considerati, mentre per gli effetti morfologici solo per l'intervallo 0.1-0.5 s; questa limitazione è causata dall'impiego, per la messa a punto della scheda di valutazione, di codici di calcolo di tipo bidimensionale ad elementi di contorno, che sono risultati più sensibili all'influenza del moto di input nell'intervallo di periodo 0.5-1.5 s.

EFFETTI MORFOLOGICI

Zona di scarpata (Scenario Z3a)

Lo scenario di zona di scarpata rocciosa (Z3a) è caratterizzato da irregolarità con fronti di altezza (*H*) uguale o superiore a 10 m ed inclinazione (α) del fronte principale uguale o superiore ai 10°.
Il materiale costituente il rilievo topografico deve avere una *Vs* maggiore o uguale ad 800 m/s.
In funzione della tipologia del fronte superiore si distinguono:

- scarpate ideali con fronte superiore orizzontale;
- scarpate in pendenza con fronte superiore inclinato nello stesso senso del fronte principale;
- scarpate in contropendenza con fronte superiore inclinato nel senso opposto a quello del fronte principale.

La misura dell'altezza *H* è da intendersi come distanza verticale dal piede al ciglio del fronte principale, mentre il fronte superiore è da definire come distanza tra il ciglio del fronte principale e la prima evidente irregolarità morfologica.
Sono da considerare scarpate solo quelle situazioni che presentano:

- un fronte superiore di estensione paragonabile al dislivello altimetrico massimo (*H*) o comunque non inferiore ai 15-20 m;
- l'inclinazione (β) del fronte superiore inferiore o uguale ad un quinto dell'inclinazione (α) del fronte principale, nel caso delle scarpate in pendenza (per $\beta > 1/5\alpha$ la situazione è da considerarsi pendio);

– il dislivello altimetrico minimo (*h*) minore ad un terzo del dislivello altimetrico massimo (*H*), nel caso di scarpate in contropendenza (per $h \geq 1/3H$ la situazione è da considerarsi una cresta appuntita).

All'interno della scheda di valutazione si sceglie, in funzione dell'inclinazione α il valore di *Fa* nell'intervallo 0,1-0,5 s.
Il valore di *Fa* determinato dovrà essere approssimato alla prima cifra decimale ed assegnato al ciglio del fronte principale, mentre all'interno della relativa area di influenza (fronte superiore) il valore è scalato in modo lineare fino al raggiungimento del valore unitario; lungo il fronte principale tale valore è scalato in modo lineare fino al valore unitario alla base del fronte stesso.
I valori di *Fa* così ottenuti dovranno essere utilizzati per valutare il grado di protezione raggiunto al sito dall'applicazione della normativa sismica vigente.

Zona di cresta rocciosa e/o di culminazione morfologica (Scenario Z3b)

La procedura semplificata è valida per lo scenario di zona di cresta rocciosa e/o culminazione morfologica (Z3b), caratterizzata da pendii con inclinazione maggiore o uguale ai 10°; il rilievo è identificato sulla base di cartografie a scala almeno 1:10.000 e la larghezza alla base è scelta in corrispondenza di evidenti rotture morfologiche: sono da considerare creste solo quelle situazioni che presentano il dislivello altimetrico minimo (*h*) maggiore o uguale ad un terzo del dislivello altimetrico massimo (*H*).
Il terreno costituente la dorsale deve avere una *Vs* maggiore o uguale ad 800 m/s.
Nell'ambito delle creste si distinguono due situazioni:

– rilievo caratterizzato da una larghezza in cresta (*l*) molto inferiore alla larghezza alla base (*L*) (cresta appuntita);
– rilievo caratterizzato da una larghezza in cresta paragonabile alla larghezza alla base, ovvero pari ad almeno 1/3 della larghezza alla base; la zona di cresta è pianeggiante o subpianeggiante con inclinazioni inferiori a 10° (c resta arrotondata).

Per l'utilizzo della scheda di valutazione si richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

– larghezza alla base del rilievo *L*;
– larghezza in cresta del rilievo *l*;
– dislivello altimetrico massimo *H* e dislivello altimetrico minimo *h* dei versanti;
– coefficiente di forma *H/L*.

All'interno della scheda di valutazione si sceglie, in funzione della tipologia di cresta (appuntita o arrotondata) e della larghezza alla base del rilievo, solo per le creste appuntite, la curva più appropriata per la valutazione del valore di *Fa* nell'intervallo 0.1-0.5 s, in base al valore del coefficiente di forma *H/L*.
Il valore di *Fa* determinato dovrà essere approssimato alla prima cifra decimale ed assegnato all'area corrispondente alla larghezza in cresta *l*, mentre lungo i versanti tale valore è scalato in modo lineare fino al valore unitario alla base di ciascun versante.
I valori di *Fa* così ottenuti dovranno essere utilizzati per valutare il grado di protezione raggiunto al sito dall'applicazione della normativa sismica vigente.
La valutazione del grado di protezione, per ambedue gli scenari (zona di scarpata e zona di cresta rocciosa e/o culminazione), viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando i valori di *Fa* ottenuti dalle Schede di valutazione con il valore di *St* delle Norme Tecniche per le Costruzioni. Tale valore *St* rappresenta il valore di soglia, oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.
La procedura prevede, pertanto, di valutare il valore di *Fa* con la scheda di valutazione e di confrontarlo con il corrispondente valore di soglia, considerando una variabilità di +0.1 che tiene in conto la variabilità del valore di *Fa* ottenuto dalla procedura semplificata.
Si possono presentare, quindi, due situazioni:

– il valore di *Fa* è inferiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione morfologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa;

– il valore di *Fa* è superiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione morfologica e quindi è necessario effettuare analisi più approfondite (3° livello) in fase di progettazione edilizia.

Nel caso di rilievi morfologici asimmetrici che possono essere rappresentati sia dallo scenario Z3a sia dallo scenario Z3b, a seconda dell'orientazione della sezione, si analizzeranno entrambi i casi e si sceglierà quello più sfavorevole.
Nel caso si prevedano costruzioni con strutture flessibili e sviluppo verticale indicativamente compreso tra i 5 e i 15 piani, in presenza di scenari Z3a e Z3b, è necessario effettuare analisi più approfondite (3° livello) in fase di progettazione edilizia.

EFFETTI LITOLOGICI

La procedura semplificata richiede la conoscenza dei seguenti parametri:
– litologia prevalente dei materiali presenti nel sito;
– stratigrafia del sito;
– andamento delle *Vs* con la profondità fino a valori pari o superiori a 800 m/s; la conoscenza degli spessori e delle *Vs* può essere ottenuta utilizzando qualsiasi metodo di indagine diretto ed indiretto, in grado di fornire un modello geologico e geofisico del sottosuolo attendibile in relazione alla situazione geologica del sito e il più dettagliato possibile nella parte più superficiale per una corretta individuazione dello strato superficiale; in mancanza del raggiungimento del bedrock (*Vs* ≥ 800 m/s) con le indagini è possibile ipotizzare un opportuno gradiente di *Vs* con la profondità sulla base dei dati ottenuti dall'indagine, tale da raggiungere il valore di 800 m/s;
– spessore e velocità di ciascun strato;
– sezioni geologiche, conseguente modello geofisico-geotecnico ed identificazione dei punti rappresentativi sui quali effettuare l'analisi.

Sulla base di intervalli indicativi di alcuni parametri geotecnici, quali curva granulometrica, parametri indice, numero di colpi della prova *SPT*, si individua la litologia prevalente presente nel sito e per questa si sceglie la relativa scheda di valutazione di riferimento.
Si allegano alla procedura:
– una scheda per le litologie prevalentemente ghiaiose;
– due schede per le litologie prevalentemente limoso-argillose (tipo 1 e tipo 2);
– due schede per le litologie prevalentemente limoso-sabbiose (tipo 1 e tipo 2);
– una scheda per le litologie prevalentemente sabbiose.

Una volta individuata la scheda di riferimento è necessario verificarne la validità in base all'andamento dei valori di *Vs* con la profondità; in particolare si dovrà verificare l'andamento delle *Vs* con la profondità partendo dalla scheda tipo 1, nel caso in cui non fosse verificata la validità per valori di *Vs* inferiori ai 600 m/s si passerà all'utilizzo della scheda tipo 2.
In presenza di una litologia non contemplata dalle schede di valutazione allegate si potrà utilizzare la scheda di valutazione che presenta l'andamento delle *Vs* con la profondità più simile a quella riscontrata nell'indagine.
Nel caso esista la scheda di valutazione per la litologia esaminata ma l'andamento delle *Vs* con la profondità non ricade nel campo di validità della scheda potrà essere scelta un'altra scheda che presenti l'andamento delle *Vs* con la profondità più simile a quella riscontrata nell'indagine.
Nel caso di presenza di alternanze litologiche, che non presentano inversioni di velocità con la profondità, si potranno utilizzare le schede a disposizione solo se l'andamento dei valori di *Vs* con la profondità, nel caso da esaminare, risulta compatibile con le schede proposte.
In presenza di alternanze litologiche con inversioni di velocità con la profondità si potrà utilizzare la scheda di valutazione che presenta l'andamento delle *Vs* con la profondità più simile a quella riscontrata nell'indagine e si accetteranno anche i casi in cui i valori di *Vs* escano dal campo di validità solo a causa dell'inversione.

All'interno della scheda di valutazione si sceglie, in funzione della profondità e della velocità *Vs* dello strato superficiale, utilizzando la matrice della scheda di valutazione, la curva più appropriata (indicata con il numero e il colore di riferimento) per la valutazione del valore di *Fa* nell'intervallo 0.1-0.5 s e nell'intervallo 0.5-1.5 s, in base al valore del periodo proprio del sito *T*. Nel caso il valore di *Vs* dello strato superficiale risulta pari o superiore ad 800 m/s non si applica la procedura semplificata per la valutazione del *Fa* in quanto l'amplificazione litologica attesa è nulla (*Fa* = 1.0).
Il valore di *Vs* dello strato superficiale riportato nella scheda è da intendersi come limite massimo di ogni intervallo (es: per un valore di *Vs* dello strato superficiale ottenuto dall'indagine pari a 220 m/s si sceglierà il valore 250 m/s nella matrice della scheda di valutazione).
Qualora lo strato superficiale abbia una profondità inferiore ai 4 m si utilizzerà, per la scelta della curva, lo strato superficiale equivalente, a cui si assegna una velocità *Vs* calcolata come media pesata del valore di *Vs* degli strati superficiali la cui somma supera i 4 m di spessore.
Il periodo proprio del sito *T* necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione è calcolato considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità *Vs* è uguale o superiore a 800 m/s ed utilizzando la seguente equazione:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^{n} h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} Vs_i \times h_i}{\sum_{i=1}^{n} h_i} \right)}$$

ove h_i e Vs_i sono lo spessore e la velocità dello strato i-esimo del modello.
Il valore di *Fa* determinato dovrà essere approssimato alla prima cifra decimale e dovrà essere utilizzato per valutare il grado di protezione raggiunto al sito dall'applicazione della normativa sismica vigente.
La valutazione del grado di protezione viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando il valore di *Fa* ottenuto dalle schede di valutazione con un parametro di analogo significato calcolato per ciascun comune e per le diverse categorie di suolo (Norme Tecniche per le Costruzioni) soggette ad amplificazioni litologiche (B, C, D ed E) e per i due intervalli di periodo 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s.
Alcune regioni forniscono per ciascun comune un parametro (Esempio Lombardia **soglie_lomb.xls**) e rappresenta il valore di soglia oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.
La procedura prevede pertanto di valutare il valore di *Fa* con le schede di valutazione e di confrontarlo con il corrispondente valore di soglia (se disponibile), considerando una variabilità di +0.1 che tiene in conto la variabilità del valore di *Fa* ottenuto.
Si possono presentare quindi due situazioni:

- il valore di *Fa* è inferiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa;
- il valore di *Fa* è superiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica e quindi è necessario, in fase di progettazione edilizia, o effettuare analisi più approfondite (3° livello) o utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, con il seguente schema:
  - anziché lo spettro della categoria di suolo B si utilizzerà quello della categoria di suolo C;
  - nel caso in cui la soglia non fosse ancora sufficiente si utilizzerà lo spettro della categoria di suolo D;
  - anziché lo spettro della categoria di suolo C si utilizzerà quello della categoria di suolo D;
  - anziché lo spettro della categoria di suolo E si utilizzerà quello della categoria di suolo D.

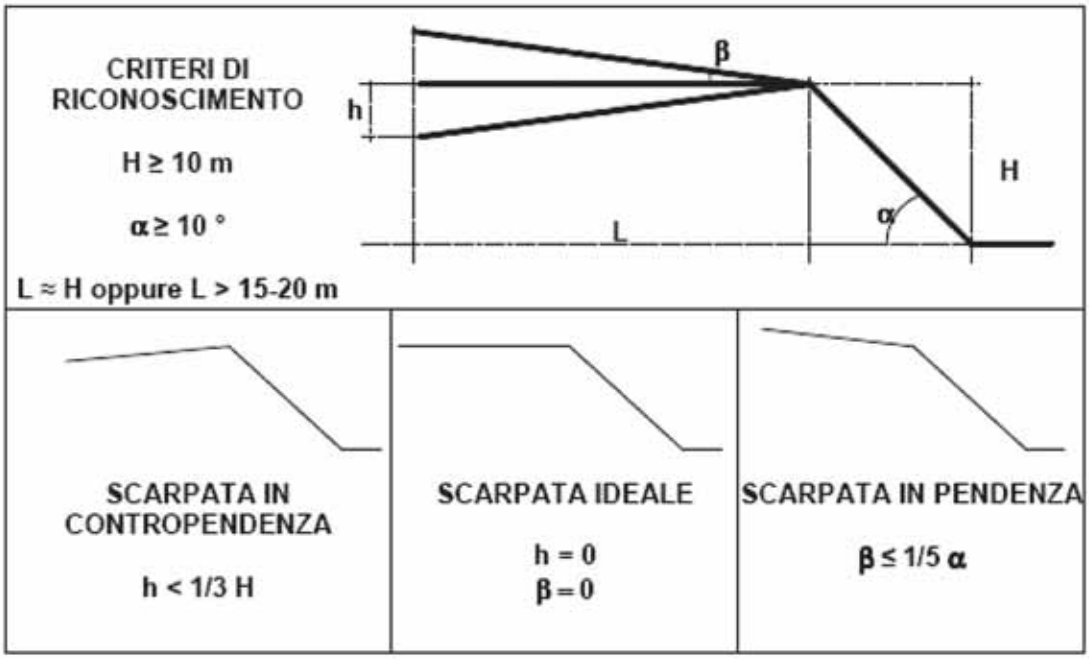
Nel caso di presenza contemporanea di effetti litologici (Z4) e morfologici (Z3) si analizzeranno entrambi i casi e si sceglierà quello più sfavorevole.

La scelta dei dati stratigrafici, geotecnici e geofisici, in termini di valori di Vs, utilizzati nella procedura di 2° livello deve essere opportunamente motivata e a ciascun parametro utilizzato deve essere assegnato un grado di attendibilità, secondo la seguente tabella 2.

Tabella 2 - livelli di attendibilità da assegnare ai risultati ottenuti dall'analisi.

Dati	Attendibilità	Tipologia
Litologici	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Alta	Da prove di laboratorio su campioni e da prove in sito
Stratigrafici (spessori)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da prove indirette (penetrometriche e/o geofisiche)
	Alta	Da indagini dirette (sondaggi a carotaggio continuo)
Geofisici (*Vs*)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da prove indirette e relazioni empiriche
	Alta	Da prove dirette (sismica in foro o sismica superficiale)

EFFETTI MORFOLOGICI – SCARPATA - SCENARIO Z3a



Classe altimetrica	Classe di inclinazione	Valore di $Fa_{0.1\text{-}0.5}$	Area di influenza
1 m ≤ H ≤ 20 m	10° ≤ α ≤ 90°	1.1	$A_i = H$
20 m < H ≤ 40 m	10° ≤ α ≤ 90°	1.2	$A_i = {}^3\!/_4 H$
H > 40 m	10° ≤ α ≤ 20°	1.1	$A_i = {}^2\!/_3 H$
	20° < α ≤ 40°	1.2	
	40° < α ≤ 60°	1.3	
	60° < α ≤ 70°	1.2	
	α > 70°	1.1	

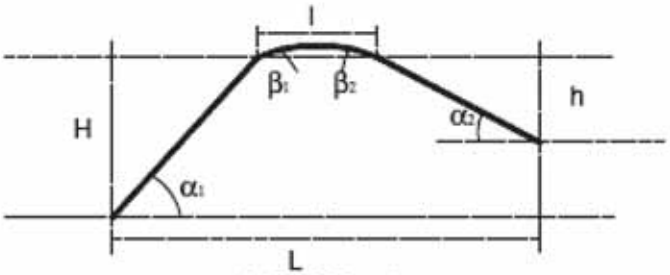
EFFETTI MORFOLOGICI – CRESTE - SCENARIO Z3b

CRITERI DI RICONOSCIMENTO

CRESTA
$\alpha_1 \geq 10°$ e $\alpha_2 \geq 10°$
$h \geq 1/3\ H$

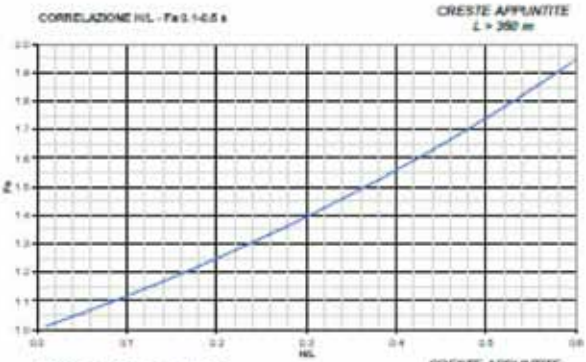
CRESTA ARROTONDATA
$\beta_1 < 10°$ e $\beta_2 < 10°$
$l \geq 1/3\ L$

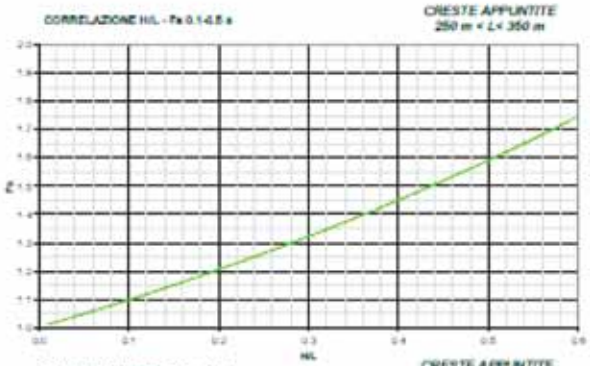
CRESTA APPUNTITA
$l < 1/3\ L$

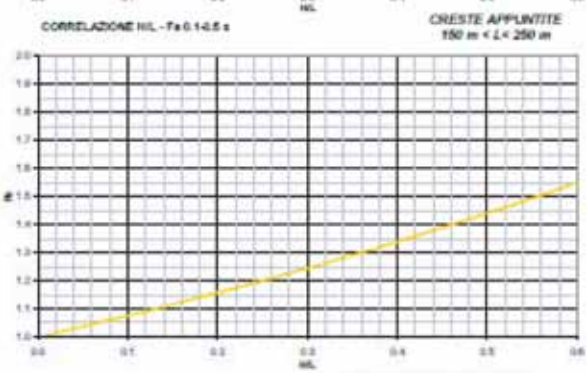


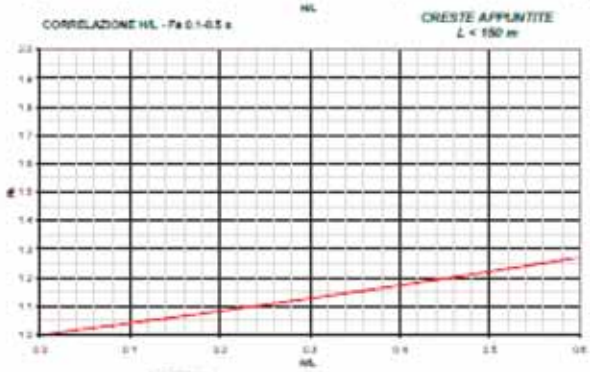
$V_s \geq 800$ m/s

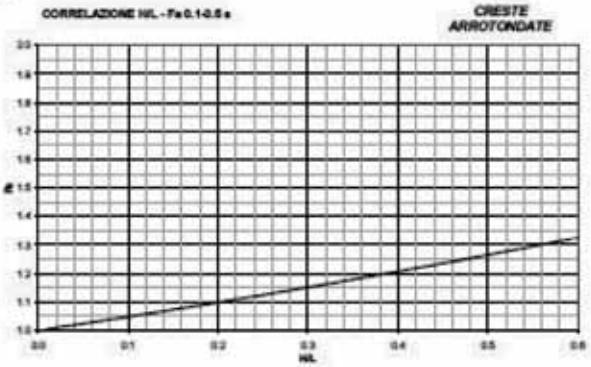
	L > 350	250 < L <350	150 < L < 250	L < 150
Creste Appuntite	$Fa_{0.1-0.5} = e^{1.11H/L}$	$Fa_{0.1-0.5} = e^{0.91H/L}$	$Fa_{0.1-0.5} = e^{0.73H/L}$	$Fa_{0.1-0.5} = e^{0.40H/L}$
Creste Arrotondate	$Fa_{0.1-0.5} = e^{0.47H/L}$			







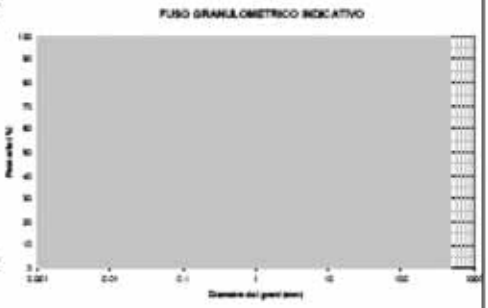




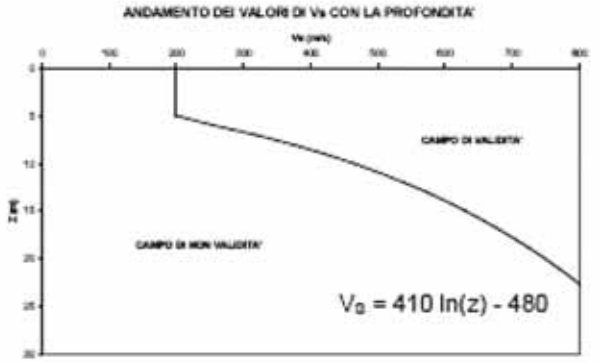
EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA GHIAIOSA

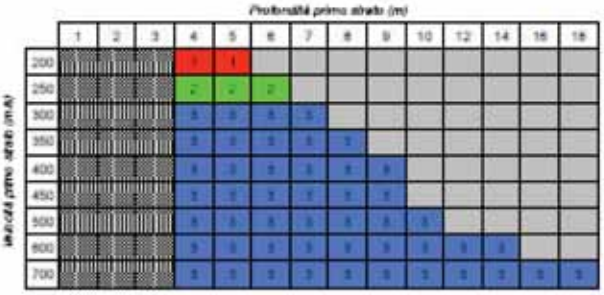
PARAMETRI INDICATIVI

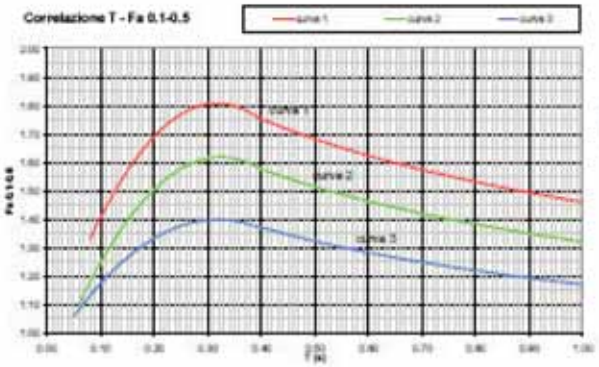
GRANULOMETRIA:
Da ghiaie e ciottoli con blocchi a ghiaie e sabbie limose debolmente argillose passando per ghiaie con sabbie limose, ghiaie sabbiose, ghiaie con limo debolmente sabbiose e sabbie con ghiaie

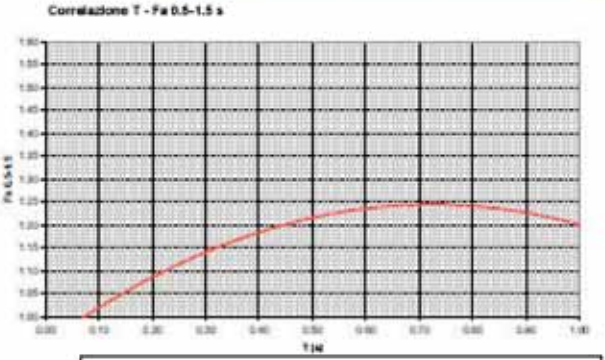


NOTE:
Comportamento granulare
Struttura granulo-sostenuta
Frazione ghiaiosa superiore al 35%
Frequenti clasti con D_{max} > 20 cm
Frazione sabbiosa fino ad un massimo del 65%
Matrice limoso - argillosa fino ad un massimo del 30% con frazione argillosa subordinata (fino al 5%)
Presenza di eventuali trovanti con D > 50 cm
Presenza di eventuali orizzonti localmente cementati









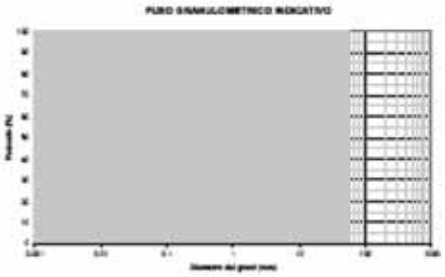
$$Fa_{0.5-1.5} = -0.58T^2 + 0.84T + 0.94$$

Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.08 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -8.5T^2 + 5.4T + 0.95$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.46 - 0.32LnT$
2	$0.06 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -7.4T^2 + 4.8T + 0.84$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.32 - 0.28LnT$
3	$0.05 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -4.7T^2 + 3.0T + 0.92$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.17 - 0.22LnT$

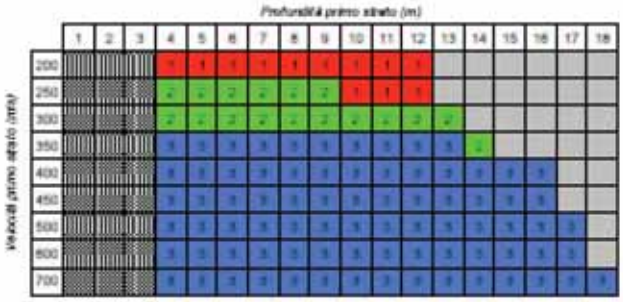
EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA LIMOSO – SABBIOSA TIPO 1

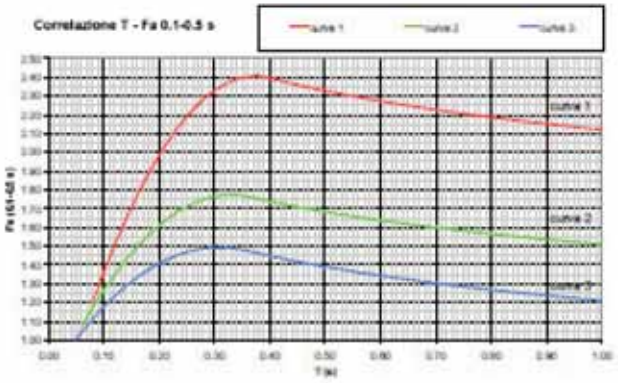
PARAMETRI INDICATIVI

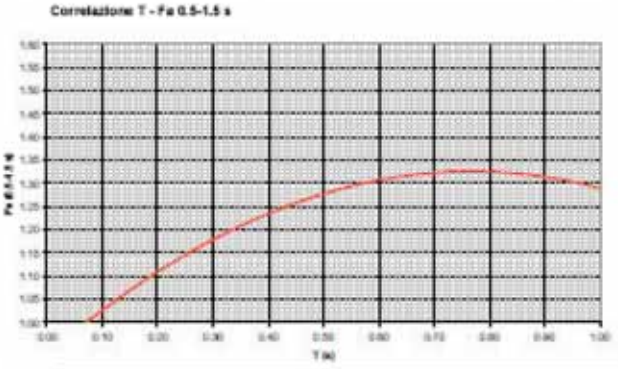
GRANULOMETRIA:
Da limi con sabbie debolmente ghiaiose a limi debolmente sabbioso-argillosi passando per limi con sabbie, limi debolmente argillosi, limi debolmente sabbiosi, limi debolmente ghiaiosi e sabbie con limi debolmente argillosi



NOTE:
Comportamento coesivo
Frazione limosa ad un massimo del 95%
Presenza di clasti immersi con D_{max} < 2-3 cm
Frazione ghiaiosa fino ad un massimo del 10%
Frazione sabbiosa fino ad un massimo del 45%
Frazione argillosa fino ad un massimo del 15%
A FIANCO: range di valori per alcuni parametri geotecnici significativi validi per limi sabbiosi debolmente argillosi







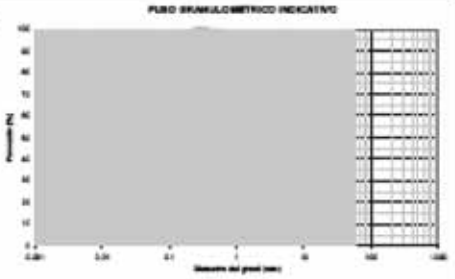
$$Fa_{0.5-1.5} = -0.67T^2 + 1.03T + 0.93$$

Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.08 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -13.9T^2 + 10.4T + 0.46$	$Fa_{0.1-0.5} = 2.12 - 0.30LnT$
2	$0.06 < T \leq 0.35$	$0.35 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -9.5T^2 + 6.3T + 0.73$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.51 - 0.25LnT$
3	$0.05 < T \leq 0.35$	$0.35 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -7.3T^2 + 4.5T + 0.80$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.21 - 0.26LnT$

EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA LIMOSO – SABBIOSA TIPO 2

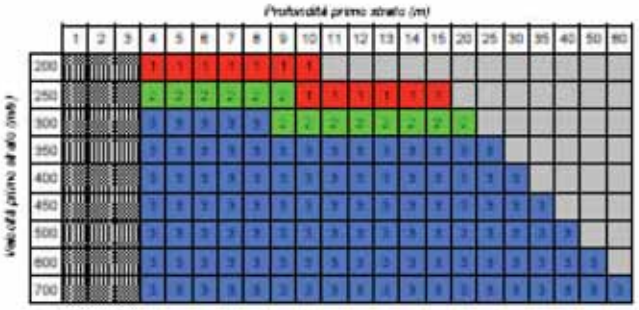
PARAMETRI INDICATIVI

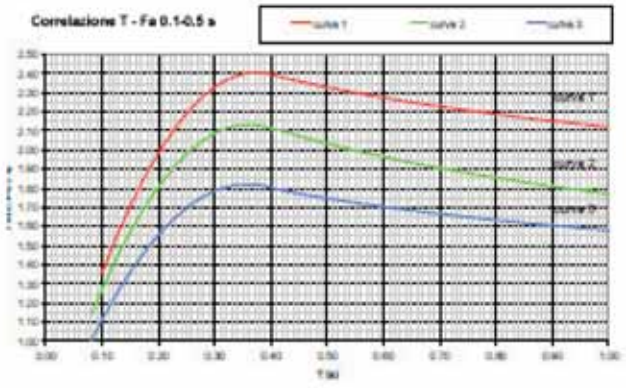
GRANULOMETRIA:
Da limi con sabbie debolmente ghiaiose a limi debolmente sabbioso-argillosi passando per limi con sabbie, limi debolmente argillosi, limi debolmente sabbiosi, limi debolmente ghiaiosi e sabbie con limi debolmente argillosi

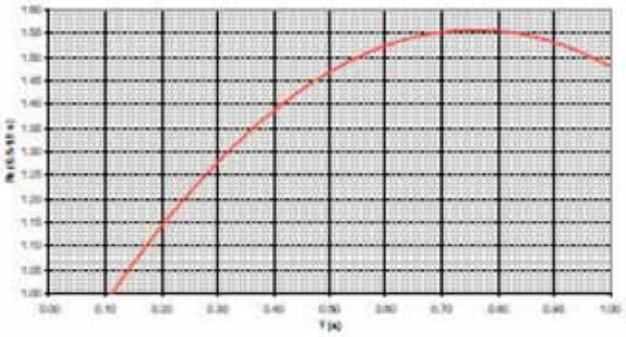


NOTE:
Comportamento coesivo
Frazione limosa ad un massimo del 95%
Presenza di clasti immersi con D_{max} < 2-3 cm
Frazione ghiaiosa fino ad un massimo del 10%
Frazione sabbiosa fino ad un massimo del 45%
Frazione argillosa fino ad un massimo del 15%
A FIANCO: range di valori per alcuni parametri geotecnici significativi validi per limi sabbiosi debolmente argillosi

PARAMETRO		INTERVALLO
Peso di volume naturale	γ [kN/m^3]	18.5-19.5
Peso specifico particelle solide	γ_s [kN/m^3]	26.0-27.0
Contenuto d'acqua naturale	w [%]	25-30
Limite di liquidità	w_L [%]	25-35
Limite di plasticità	w_P [%]	15-20
Indice di plasticità	I_P [%]	5-15
Indice dei vuoti	e	0.6-0.8
Grado di saturazione	S_r [%]	90-100
Coefficiente di spinta a riposo	K_0	0.4-0.5
Indice di compressione	C_c	0.10-0.30
Indice di rigonfiamento	C_s	0.05-0.05
Coefficiente di consolidazione secondaria	C_α	0.002-0.006
Numero colpi prova SPT (nei primi 10 m)	N_{SPT}	0-30







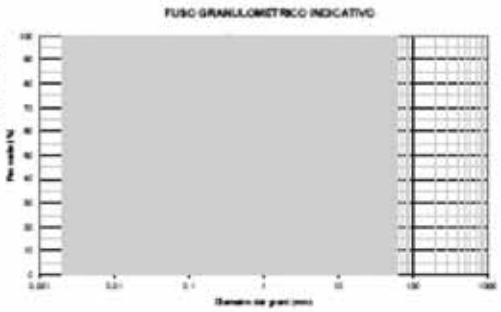
$$Fa_{0.5\ 1.5} = -1.33T^2 + 2.02T + 0.79$$

Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.10 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -13.9T^2 + 10.4T + 0.46$	$Fa_{0.1-0.5} = 2.12 - 0.30LnT$
2	$0.08 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -12.8T^2 + 9.2T + 0.48$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.77 - 0.38LnT$
3	$0.05 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -10.6T^2 + 7.6T + 0.46$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.58 - 0.24LnT$

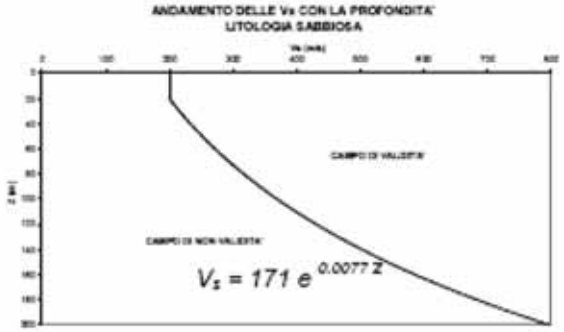
EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA SABBIOSA

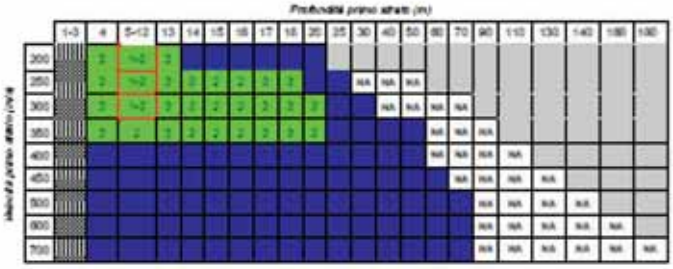
PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA:
Da sabbia con ghiaia e ciottoli a limo e sabbia passando per sabbie ghiaiose, sabbie limose, sabbie con limo e ghiaia, sabbie limose debolmente ghiaiose, sabbie ghiaiose debolmente limose e sabbie



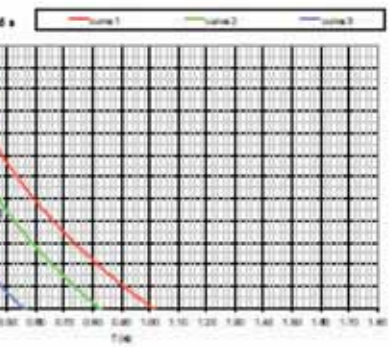
NOTE:
Comportamento granulare
Struttura granulo-sostenuta
Clasti con D_{max} > 20 cm inferiori al 15%
Frazione ghiaiosa inferiore al 25%
Frazione limosa fino ad un massimo del 70%

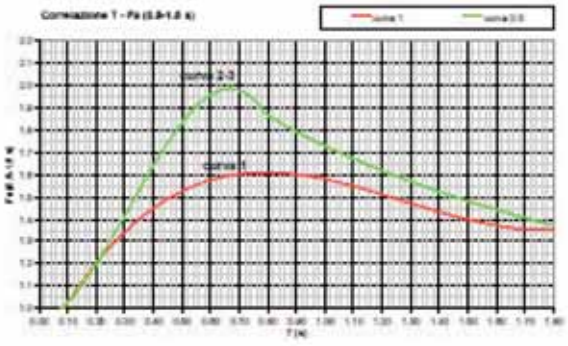




ove
la sigla NA indica *Fa* = 1

il riquadro rosso indica la condizione stratigrafica per cui è necessario utilizzare le curve 1
CONDIZIONE: strato con spessore compreso tra 5 e 12 m e velocità media Vs minore o uguale a 300 m/s poggiante su strato con velocità maggiore di 500 m/s





Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico	Tratto rettilineo
1	0.03 ≤ T ≤ 0.50	0.50 < T ≤ 1.00	T > 1.00
	$Fa_{0.1-0.5} = -12.21\ T^2 + 7.79\ T + 0.78$	$Fa_{0.5-1.0} = 1.01 - 0.94 \ln T$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.00$
2	0.03 ≤ T ≤ 0.45	0.45 < T ≤ 0.80	T > 0.80
	$Fa_{0.1-0.5} = -8.85\ T^2 + 5.44\ T + 0.54$	$Fa_{0.1-0.5} = 0.83 - 0.58 \ln T$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.00$
3	0.03 ≤ T ≤ 0.40	0.50 < T ≤ 0.55	T > 0.55
	$Fa_{0.1-0.5} = -9.88\ T^2 + 4.77\ T + 0.66$	$Fa_{0.1-0.5} = 0.62 - 0.55 \ln T$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.00$

Curva		
1	0.08 ≤ T ≤ 1.50	
	$Fa_{0.8-1.5} = 0.57\ T^2 - 2.18\ T^2 + 2.38\ T + 0.81$	
2	0.08 ≤ T < 0.60	
	$Fa_{0.8-1.5} = -6.11\ T^2 + 5.79\ T^2 + 0.44\ T + 0.93$	$Fa_{0.8}$ T

3° LIVELLO

Il 3° livello si applica in fase progettuale agli scenari qualitativi suscettibili di instabilità (Z1b e Z1c), cedimenti e/o liquefazioni (Z2), per le aree suscettibili di amplificazioni sismiche (morfologiche Z3 e litologiche Z4) che sono caratterizzate da un valore di *Fa* superiore al valore di soglia corrispondente così come ricavato dall'applicazione del 2° livello.
Per le zone di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico meccaniche molto diverse (Z5) non è necessaria la valutazione quantitativa, in quanto è da escludere la costruzione su entrambi i litotipi. In fase progettuale tale limitazione può essere rimossa qualora si operi in modo tale da avere un terreno di fondazione omogeneo.
Nell'impossibilità di ottenere tale condizione, si dovranno prevedere opportuni accorgimenti progettuali atti a garantire la sicurezza dell'edificio.
I risultati delle analisi di 3° livello saranno uti lizzati in fase di progettazione al fine di ottimizzare l'opera e gli eventuali interventi di mitigazione della pericolosità.

Effetti di instabilità

L'analisi prevede, a seguito della caratterizzazione ed identificazione dei movimenti franosi, la quantificazione della loro instabilità intesa come la valutazione degli indici di stabilità in condizioni statiche, pseudostatiche e dinamiche e prevede un approccio di tipo puntuale, finalizzato cioè alla quantificazione della instabilità di singoli movimenti franosi.
Le fasi, i dati e le metodologie necessarie per l'effettuazione di queste analisi e valutazioni sono distinte per tipologia di movimenti franosi, in particolare per i movimenti franosi tipo scivolamenti (rotazionali e traslazionali) possono essere così schematizzate:

- individuazione delle sezioni geologiche e geomorfologiche che caratterizzano il corpo franoso, le sue geometrie, gli andamenti delle superfici di scivolamento, dei livelli di falda, finalizzati alla ricostruzione di un modello geologico interpretativo del movimento franoso;
- individuazione dei parametri geotecnici necessari all'analisi: il peso di volume (γ), l'angolo di attrito (ϕ) nei suoi valori di picco e residuo e la coesione (c) nei suoi valori di picco e residuo (nel caso si adotti il criterio di rottura di Mohr-Coulomb);
- individuazione degli accelerogrammi di input nel caso di analisi dinamiche;
- analisi numeriche: diversi sono i modelli numerici che possono essere utilizzati per il calcolo della stabilità; tali codici, più o meno semplificati (es. metodo dei conci, metodo ad elementi finiti, ecc.), forniscono la risposta in termini di valori del fattore di sicurezza (*Fs*) in condizioni statiche, in termini di valori del coefficiente di accelerazione orizzontale critica (*Kc*) in condizioni pseudostatiche ed in termini di spostamento atteso in condizioni dinamiche. L'applicazione dei diversi modelli dipenderà chiaramente dalle condizioni geologiche del sito in analisi e dal tipo di analisi che si intende effettuare.

I risultati, ottenuti per ogni movimento franoso o per ogni area potenzialmente franosa, forniranno i livelli di pericolosità a cui è sottoposta l'area in esame: in particolare i valori del fattore di sicurezza forniscono indicazioni sulla stabilità dell'area considerando un ben preciso stato del sito di analisi non tenendo in conto la contemporanea variazione di alcuni parametri quali contenuto d'acqua e carichi agenti (pioggia, terremoto, azioni antropiche, ecc); il coefficiente di accelerazione orizzontale critica fornisce invece la soglia di accelerazione al suolo superata la quale l'area stabile diviene instabile in occasione di un terremoto; infine lo spostamento atteso fornisce indicazioni e sull'area di influenza del movimento franoso e una misura di quanto l'accadimento di un evento sismico può modificare la situazione esistente.
Per quanto riguarda i movimenti tipo crolli e ribaltamenti le analisi che possono essere effettuate sono di tipo statico e pseudostatico. Le fasi, i dati e le metodologie necessarie per l'effettuazione di queste analisi e valutazioni possono essere così schematizzate:

- inquadramento geologico di un intorno significativo in scala 1:10.000 e esecuzione di sezioni geologiche e topografiche in scala 1:10.000;
- individuazione dei parametri dell'input sismico (quali valore del picco di accelerazione, valore del picco di velocità);

- rilievi geomeccanici per la classificazione degli ammassi rocciosi sorgenti dei distacchi (determinazione delle principali famiglie di discontinuità, prove in sito sugli affioramenti quali *martello di Schmidt* tipo L, *pettine di Barton*, spessimetro per apertura giunti ecc., prelievo di campioni per esecuzione di *Point Load Test* e di prove di scivolamento *Tilt Test*);
- identificazione dei principali cinematismi di rottura degli ammassi rocciosi su sezioni tipo e, per situazioni particolarmente significative, analisi di stabilità in condizioni statiche e pseudostatiche di singoli blocchi;
- descrizione e rilievo della pista di discesa e della zona di arrivo, rilievo geologico e, ove possibile, statistica dei massi al piede (dimensioni e distribuzione);
- costruzione del modello numerico della/e pista/e di discesa e verifiche di caduta massi con vari metodi e statistiche arrivi.

I risultati, ottenuti per ogni movimento franoso o per ogni area potenzialmente franosa, forniscono livelli di pericolosità a cui è sottoposta l'area in esame, in particolare, vengono individuate le possibili piste di discesa, le relative aree di influenza e la statistica degli arrivi.

Effetti di cedimenti e/o liquefazioni

L'analisi prevede la valutazione quantitativa delle aree soggette a fenomeni di cedimenti e liquefazioni.
Con il termine liquefazione si indica la situazione nella quale in un terreno saturo non coesivo si possono avere deformazioni permanenti significative o l'annullamento degli sforzi efficaci a causa dell'aumento della pressione interstiziale.
Per il calcolo del potenziale di liquefazione si fa riferimento ai risultati di prove in situ, utilizzando procedure note in letteratura.
Anche per il calcolo di possibili cedimenti che possono verificarsi sia in presenza di sabbie sature sia in presenza di sabbie asciutte, si fa riferimento ai risultati di prove in situ, utilizzando procedure note in letteratura.

Effetti di amplificazione morfologica e litologica

L'analisi prevede un approccio di tipo quantitativo e costituisce lo studio di maggior dettaglio, in cui la valutazione della pericolosità sismica locale è effettuata ricorrendo a metodologie che possono essere classificate come strumentali o numeriche.
La metodologia strumentale richiede l'acquisizione di dati strumentali attraverso campagne di registrazione eseguite in sito con l'utilizzo di strumentazioni specifiche, variabili a seconda del parametro di acquisizione scelto (velocimetri ed accelerometri). Le caratteristiche strumentali, il tipo di acquisizione e la disposizione logistica variano in funzione della complessità geologica dell'area di studio, del metodo di elaborazione scelto e del tipo di risultato a cui si vuole pervenire. Le registrazioni eseguite in un'area di studio possono riguardare rumore di fondo (microtremore di origine naturale o artificiale) o eventi sismici di magnitudo variabile; i dati acquisiti devono essere opportunamente selezionati (ripuliti da tutti i disturbi presenti) e qualificati tramite informazioni sismologiche dell'area in esame e permettono di definire la direzionalità del segnale sismico e la geometria della zona sismogenetica-sorgente. Le tracce dei segnali di registrazione devono essere in seguito processate tenendo conto delle diverse condizioni di installazione degli strumenti e delle diverse condizioni di acquisizione dei dati. Inoltre, nel caso siano utilizzate stazioni equipaggiate con strumentazioni con frequenza propria diversa (caso più frequente) occorre rendere omogenei tra loro i vari segnali attraverso una deconvoluzione per le rispettive risposte spettrali. L'analisi sperimentale può presentare diversi gradi di approfondimento ed affidabilità, in funzione del tipo di strumentazione impiegata, del tipo di elaborazione del dato di registrazione e, soprattutto, in funzione dell'intervallo di tempo dedicato alle misurazioni in sito. I metodi di analisi strumentale più diffusi ed utilizzati sono il metodo di NAKAMURA [1989] e il metodo dei rapporti spettrali [KANAI e TANAKA, 1981].
La metodologia numerica consiste nella modellazione di situazioni reali mediante un'appropriata e dettagliata caratterizzazione geometrica e meccanica del sito e nella valutazione della risposta sismica locale tramite codici di calcolo matematico più o meno sofisticati (modelli monodimensionali 1D,

bidimensionali 2D e tridimensionali 3D), basati su opportune semplificazioni e riduzioni del problema, necessarie ma comunque di influenza abbastanza trascurabile sul risultato finale. I concetti fondamentali su cui si basano i codici di calcolo numerico riguardano la teoria della propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo e la teoria del comportamento non lineare e dissipativo dei terreni in condizioni dinamiche. La valutazione della risposta sismica deve tener conto non solo delle variazioni di ampiezza massima del moto sismico di riferimento, ma anche dell'effetto di filtraggio esercitato su di esso dal terreno, cioè delle modifiche nel contenuto in frequenza.
L'applicazione della metodologia numerica richiede una caratterizzazione geometrica di dettaglio del sottosuolo, tramite rilievi specifici, una caratterizzazione geofisica e una caratterizzazione meccanica, tramite accurate indagini geologiche e geotecniche, in grado di determinare i parametri geotecnici statici e dinamici specifici su campioni indisturbati o comunque di alta qualità e in condizioni tali per cui vengano simulate il meglio possibile le condizioni di sito del terreno durante i terremoti attesi. Perciò viene richiesto un programma di indagini geotecniche specifico, i cui risultati saranno da aggiungere a quelli esistenti (1° e 2° livello). È inoltre necessaria l'individuazione di più input sismici sotto forma di spettri di risposta e/o di accelerogrammi. In tal senso si raccomanda l'uso della banca dati accelerometrica ITACA (link).
Le analisi strumentali e numeriche rappresentano due approcci diversi per la valutazione quantitativa dell'amplificazione locale; essi sono tra loro coerenti ma presentano le seguenti differenze:

- l'analisi numerica ha il vantaggio di essere facilmente applicabile con tempi veloci ma ha lo svantaggio di richiedere alti costi di realizzazione, di considerare modelli semplificati della situazione reale (soprattutto per i codici di calcolo 1D e 2D) e di trascurare l'effetto delle onde superficiali, sottostimando gli effetti ad alti periodi;
- l'analisi strumentale ha il vantaggio di considerare l'effetto della sollecitazione sismica nelle tre dimensioni spaziali ma ha lo svantaggio di considerare eventi di bassa magnitudo, valutando il comportamento dei materiali solo per basse deformazioni in campo elastico, di richiedere, oltre alle analisi sismologiche di registrazione strumentale, analisi geotecniche dinamiche integrative atte a rilevare il comportamento del *bedrock* sotto sollecitazione, di effettuare le registrazioni per periodi di tempo che dipendono dalla sismicità dell'area e che possono variare da un minimo di 1 mese ad un massimo di 2 anni.

Per compensare i limiti di un metodo con i vantaggi dell'altro è da valutare la possibilità di integrazione delle due metodologie: in questo modo è possibile effettuare un'analisi quantitativa completa che considera sia l'effetto della tridimensionalità del sito sia il comportamento non lineare dei materiali soggetti a sollecitazioni sismiche.

ALLEGATO VI

Procedura di analisi di pericolosità per fenomeni valanghivi

Premessa

Per la valutazione della pericolosità da fenomeni valanghivi e per la conseguente utilizzazione del territorio, si dovrà seguire una metodologia che tenga conto dei tempi di ritorno e delle pressioni esercitate dalle valanghe.
A questo scopo si propone di utilizzare le seguenti metodologie, estrapolate e adattate dalla direttiva "Criteri per la perimetrazione e l'utilizzo delle aree soggette al pericolo di valanghe" redatto dall'AINEVA (Associazione Italiana Neve e Valanghe) nel 2002 e da quelle vigenti in Svizzera.
Lo scopo delle metodologie proposte è quello di predisporre una zonizzazione degli ambiti interessati, o potenzialmente interessati, dal verificarsi di fenomeni valanghivi secondo diversi gradi di pericolosità che dipendono dalla intensità e dal tempo di ritorno degli eventi.

Indicazioni generali

Per lo studio della pericolosità da valanga devono essere utilizzate informazioni di base e osservazioni sul terreno che dovranno essere integrate dalle valutazioni quantitative mediante i calcoli relativi alle forze dinamiche in gioco.
Come informazioni di base si dovrà consultare il materiale pubblicato, come ad esempio la Carta della probabile localizzazione delle valanghe in scala 1:25.000, predisposta da diverse strutture regionali italiane normalmente disponibili sui SIT, o sugli Atlanti dei rischi idraulici ed idrogeologici del piano di Assetto Idrogeologico dell'Autorità di bacino competente.
Inoltre sarà necessario effettuare valutazioni di carattere morfologico per individuare le possibili zone di distacco e i possibili percorsi delle valanghe oltre ad osservazioni sul terreno.
Dovranno altresì essere raccolte tutte le informazioni ed i dati storici disponibili in merito alle condizioni meteoclimatiche ed ai tipi di valanghe verificatisi con i relativi tempi di ritorno. Sarà infine necessario prendere in considerazione l'altezza dei margini di distacco ed i parametri dinamici delle valanghe.
La valutazione delle forze dinamiche in gioco si basa principalmente sulla natura del suolo e sulle condizioni d'innevamento. Le caratteristiche peculiari dei terreni possono essere facilmente definite ma, per quanto riguarda le condizioni di innevamento, sarà necessario elaborare delle ipotesi accuratamente soppesate in funzione dei casi limite tenendo conto della superficie della zona effettiva di distacco e dello spessore della coltre nevosa.
I calcoli dovranno sempre essere eseguiti in funzione di tempi di ritorno definiti e tenendo sempre in considerazione il fatto che lo spessore degli strati che si staccano dipende dal tempo di ritorno, dai fattori climatici e dalle caratteristiche dei terreni.

Criteri di classificazione

La classificazione della pericolosità viene distinta in 4 livelli a pericolosità omogenea, rappresentati dai colori rosso (maggiore pericolosità), blu, giallo e bianco.
Le grandezze utilizzate sono la frequenza e l'intensità da considerarsi come il tempo di ritorno di una valanga di una determinata estensione in relazione alla pressione esercitata dalla valanga medesima su di un ostacolo piatto, di grandi dimensioni, disposto perpendicolarmente alla traiettoria della valanga. I valori critici di seguito indicati per le zone rossa, blu e gialla sono validi solo per gli insediamenti; si ricorda a tal fine che 1 kN/m^2 = 1 kPa. Per altri scopi, come per esempio vie di comunicazione o installazioni turistiche, si possono considerare valori convenientemente modificati.
Lo studio per la definizione della pericolosità da valanga deve contenere chiaramente l'indicazione di quale dei seguenti metodi è stato utilizzato per la sua redazione.

Classificazione secondo le direttive in vigore in Svizzera

Zona Rossa (zona ad elevata pericolosità)

Una determinata area viene attribuita alla zona rossa quando esiste la possibilità che si verifichi una delle seguenti condizioni:

a) valanghe che esercitino una pressione $P \geq 30$ kN/m^2 con un tempo di ritorno fino a 300 anni;
b) valanghe che esercitino pressioni più deboli, $P < 30$ kN/m^2 con tempo di ritorno ≤ 30 anni.

Zona Blu (zona a moderata pericolosità)

Una determinata area viene attribuita alla zona blu quando esiste la possibilità che si verifichi una delle seguenti condizioni:

a) valanghe che esercitino una pressione $P < 30$ kN/m^2 con un tempo di ritorno $30 < T_r < 300$ anni;
b) valanghe di neve polverosa che esercitino pressioni $P < 3$ kN/m^2 con tempo di ritorno $T_r < 30$ anni.

Zona gialla (zona a bassa pericolosità)

Una determinata area viene attribuita alla zona gialla, dove esiste un modesto grado di pericolosità, quando:

a) l'area è ubicata nella zona d'influenza di valanghe di neve polverosa esercitanti una pressione $P \leq 3$ kN/m^2 con tempo di ritorno $T_r > 30$ anni, oppure:
b) l'area può essere raggiunta da valanghe di neve scorrevole (fenomeno che in teoria non si può escludere anche se molto raro) con $T_r > 300$ anni e non possono essere valutate statisticamente.

Zona Bianca

Vengono attribuite alla zona bianca quelle aree dove, per quanto si è potuto valutare, l'azione della valanga non è da temere (se non è stata determinata una zona gialla, il rischio residuo è attribuito ad una zona marginale della zona bianca).

Classificazione secondo le indicazione dell'AINEVA

Zona Rossa (zona ad elevata pericolosità)

Una determinata area viene attribuita alla zona rossa quando esiste la possibilità che si verifichi una sola di queste due condizioni:

a) valanghe "frequenti" (per le quali si assume convenzionalmente un tempo di ritorno di riferimento pari a 30 anni) che esercitano una pressione uguale o superiore a 3 kPa;
b) valanghe "rare" (per le quali si assume convenzionalmente un tempo di ritorno di riferimento pari a 100 anni) che esercitano una pressione uguale o superiore a 15 kPa.

Zona Blu (zona a moderata pericolosità)

Una determinata area viene attribuita alla zona blu quando esiste la possibilità che si verifichi una sola di queste due condizioni:

a) 3 valanghe "frequenti" (per le quali si assume convenzionalmente un tempo di ritorno di riferimento pari a 30 anni) che esercitano una pressione inferiore a 3 kPa;
b) 3 valanghe "rare" (per le quali si assume convenzionalmente un tempo di ritorno di riferimento pari a 100 anni) che esercitano una pressione compresa tra 3 e 15 kPa.

Zona gialla (zona a bassa pericolosità)

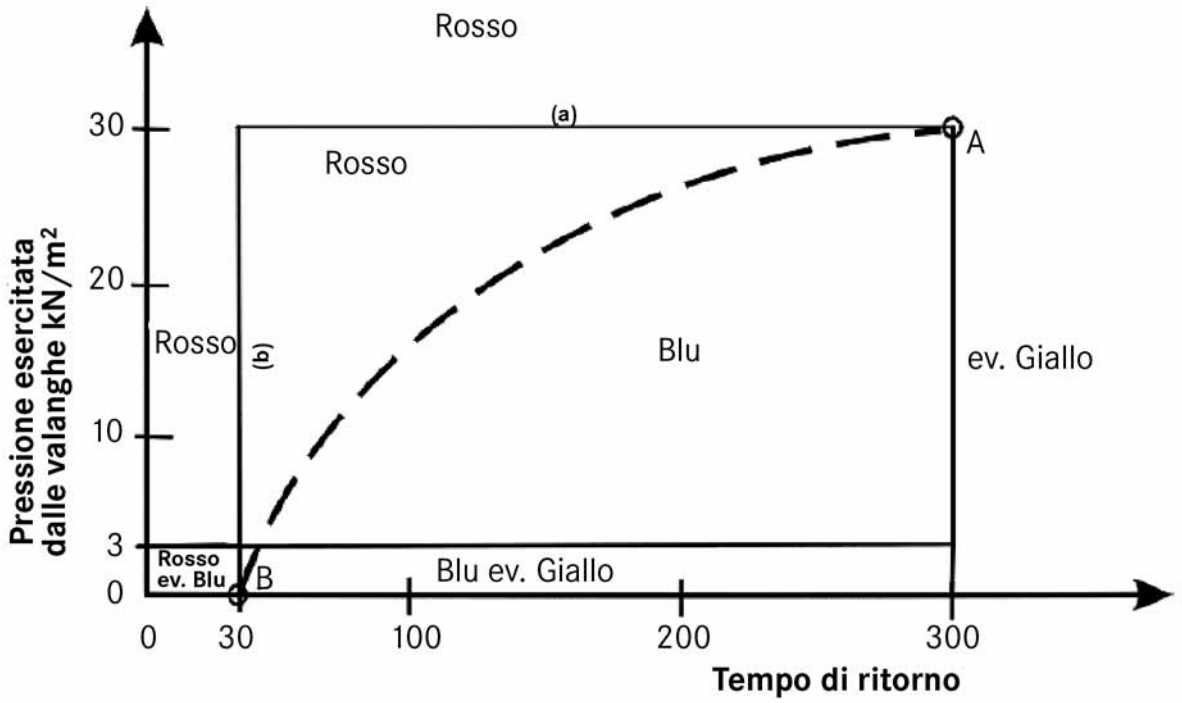
Vengono attribuite alla zona gialla (zone a bassa pericolosità) le porzioni di territorio che possono essere interessate dagli effetti residuali di valanghe di accadimento raro. In particolare una porzione di territorio

è attribuita alla zona gialla quando esiste la possibilità che in essa si verifichino valanghe "rare" (per le quali si assume convenzionalmente un tempo di ritorno di riferimento pari a 100 anni) che esercitino una pressione inferiore a 3 kPa.
Andranno altresì delimitate in giallo le porzioni di territorio interessate dall'arresto di eventi valanghivi di accadimento "eccezionale" (per i quali si può assumere indicativamente un tempo di ritorno di riferimento pari a 300 anni).

Zona Bianca

La zona bianca, esterna alla zona gialla, è quella dove si ritiene che il livello di pericolosità sia così esiguo da non richiedere alcun tipo di misura precauzionale.

Figura 1 - Criteri di delimitazione delle zone esposte a pericolo.



Nella figura 1, in riferimento alle condizioni precedentemente descritte per la zona rossa – casi a e b riportati dalle rette (a) e (b) – vengono definite le due condizioni estreme per stabilire i limiti della zona rossa (punti A e B).
L'analisi tecnica delle valanghe mostra che anche al di sopra della linea tratteggiata che unisce i punti A e B (il cui andamento dipende dalle condizioni locali) appartiene necessariamente alla zona rossa.
La condizione indicata dalla retta (b) vale per le valanghe fluide fino alle più piccole pressioni esercitate mentre, se si tratta di valanghe di neve polverosa che esercitano una pressione $P < 3$ kN/m^2, la zona corrispondente è segnata in blu. (NB: 1 kN/m^2 = 1 kPa).

ALLEGATO VII

Procedura di riferimento per analisi di pericolosità legate a fenomeni vulcanici

I fenomeni connessi all'attività vulcanica che determinano specifiche situazioni di pericolosità possono essere così riassunti:

1. colate di lava a diverso grado di velocità;
2. caduta di materiali grossolani (bombe e blocchi);
3. caduta e accumulo di materiali fini (ceneri e lapilli);
4. colate piroclastiche;
5. emissioni di gas tossici;
6. colate di fango *(lahars)*;
7. frane;
8. maremoti *(tsunami)*;
9. terremoti;
10. incendi.

Fra questi i fenomeni più pericolosi sono le colate piroclastiche e le colate di fango. Le frane vulcaniche e gli *tsunami* possono essere catastrofici ma sono poco frequenti. Le eruzioni, a seconda del tipo di vulcanismo, possono avere durata variabile da poche ore ad anni; possono avvenire dalla stessa bocca (es. Vesuvio) o da bocche che si aprono in punti diversi (es. Campi Flegrei, Etna). Le eruzioni vulcaniche possono inoltre essere classificate sulla base dell'intensità, magnitudo e dell'indice *VEI (Volcanic Explosivity Index).* L'intensità è una misura della massa di magma emessa dal vulcano per unità di tempo (può giungere fino a 10^9 kg/s); la magnitudo è una misura della massa totale di magma emesso (può arrivare a 10^{15} kg); il *VEI* è un indice empirico che classifica l'energia delle eruzioni esplosive (varia da 0 a 8).
Il presupposto indispensabile per la definizione del rischio vulcanico è la zonazione del territorio in funzione dei pericoli attesi da un vulcano, ovvero la delimitazione delle aree che potrebbero essere esposte ai diversi pericoli; la zonazione è basata sulle caratteristiche dell'evento vulcanico atteso e sulla morfologia del territorio. La seguente ricognizione riguarda le aree limitrofe a vulcani attivi per le quali sul territorio italiano esistono già specifici studi di pericolosità e piani di emergenza redatti a cura dell'INGV e del Dipartimento di Protezione Civile. In particolare esistono già riferimenti precisi e attività di monitoraggio continuo in corso per ogni distretto vulcanico italiano:

- area campana: Vesuvio, Campi Flegrei, Ischia;
- area insulare: Etna, Stromboli, Vulcano e aree vulcaniche sottomarine;
- distretto laziale: Colli Albani.

L'obiettivo del lavoro del geologo professionista, in genere chiamato ad esprimersi sulle condizioni di fattibilità di uno specifico intervento in un determinato contesto, è pertanto quello di verificare la coerenza dello stesso nel quadro degli scenari di pericolosità definiti per l'area oltre alla coerenza dello strumento di pianificazione urbanistica, a fronte della vicinanza dal centro di pericolo costituito dall'edificio vulcanico. È fondamentale, infine, l'analisi della coerenza del progetto nel quadro dei piani di emergenza al momento esistenti.

Identificazione del tipo di pericolosità connessa al vulcanismo

Ogni distretto è caratterizzato da elementi specifici che sono elencati in dettaglio negli studi sulle eruzioni storiche dei vulcani italiani; in particolare sono ampiamente descritti in letteratura i fenomeni precursori, le caratteristiche eruttive e gli effetti connessi alle principali eruzioni storiche.

Monitoraggio e fenomeni precursori

I fenomeni precursori più comunemente studiati sono:

- **la sismicità vulcanica:** il movimento del magma o dei gas vulcanici all'interno della crosta terrestre determina la progressiva deformazione delle rocce fino a produrne la fratturazione con rilascio

improvviso di energia che si trasmette attraverso la propagazione di onde sismiche. Prima delle eruzioni si rilevano tremori quasi continui e oscillazioni a periodo più o meno costante (eventi a lungo periodo). Questi fenomeni sono dovuti alle oscillazioni del magma in risalita nel condotto e delle pareti del condotto;

- **variazioni nella forma degli edifici vulcanici:** le deformazioni dell'edificio vulcanico possono essere prodotte da spostamenti di masse magmatiche in profondità. Alcune deformazioni possono inoltre essere conseguenti a variazioni di pressione dei fluidi nel sistema geotermale connesso con il vulcano;
- **variazioni del campo gravitazionale, magnetico ed elettrico:** sono prodotte dall'intrusione del magma o dalla circolazione di fluidi, entrambi caratterizzati da alta temperatura e diversa densità, in rocce solide e relativamente più fredde;
- **variazioni geochimiche:** la risalita del magma attraverso la crosta terrestre provoca una più intensa migrazione verso la superficie e una variazione della composizione dei fluidi che alimentano le fumarole e i sistemi geotermici e idrotermali. Questi fluidi possono essere rilasciati dal magma stesso (fluidi magmatici), dalle rocce incassanti riscaldate o per ebollizione di sistemi acquiferi (fluidi idrotermali geotermici). Tutti i gas emessi sono caratterizzati dalla presenza di vapore acqueo (H_2O) e anidride carbonica (CO_2) come specie principali; differenze importanti riguardano il contenuto relativo in gas acidi – quali acido cloridrico (HCl), acido fluoridrico (HF), acido solforico (H_2SO_4) – di cui sono relativamente ricchi i fluidi di origine magmatica e poveri quelli di origine idrotermale-geotermica.

Rassegna sulle principali aree vulcaniche attive italiane

I VULCANI DELL'AREA CAMPANA

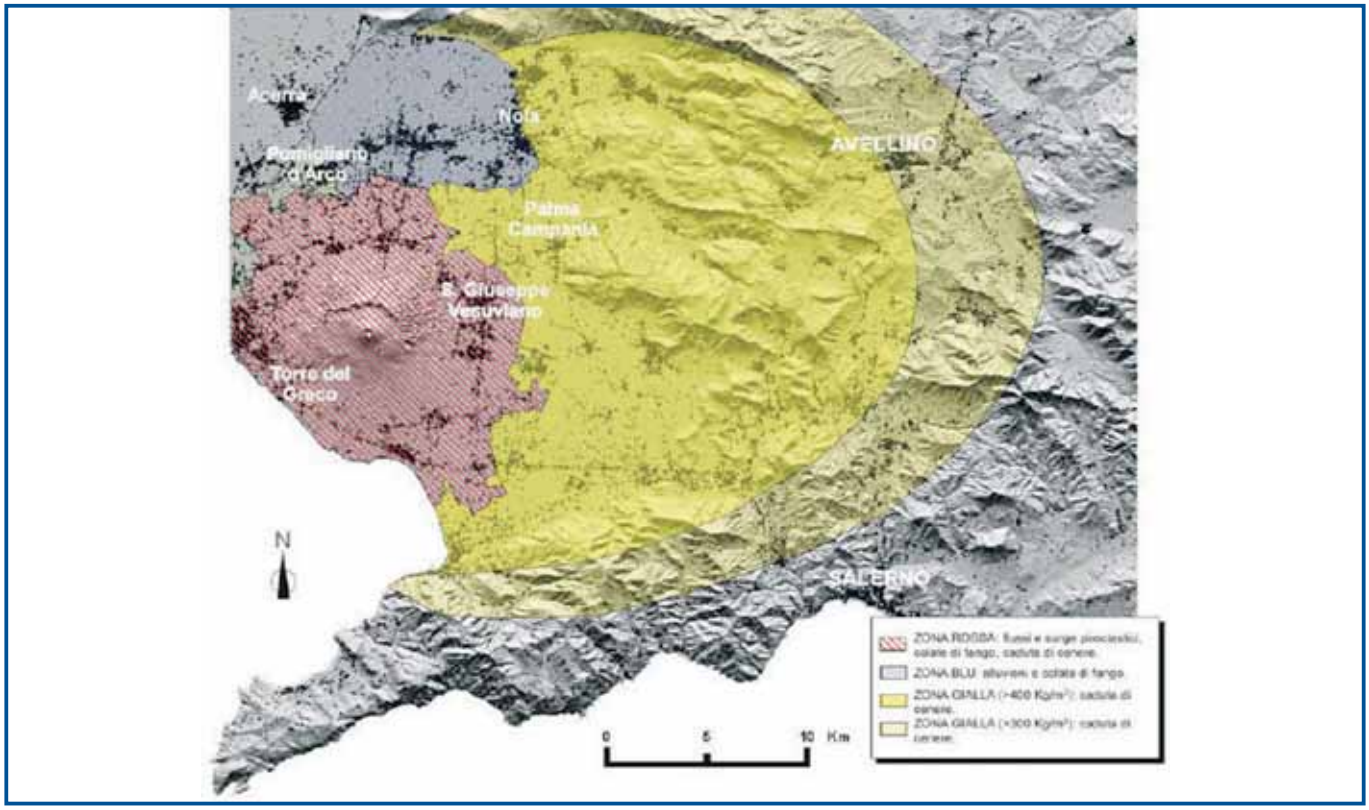
Scenari di pericolosità connessi a eruzioni del Vesuvio

Il comportamento del Vesuvio nel corso della sua storia è stato caratterizzato dall'alternanza tra periodi di attività eruttiva e periodi di quiescenza, in cui il condotto vulcanico è ostruito. I periodi a condotto ostruito sono caratterizzati da assenza di attività eruttiva e da accumulo dei fusi profondi nella camera magmatica collocata oltre 10 km di profondità. La ripresa dell'attività avviene generalmente con un'eruzione esplosiva che è tanto più violenta quanto più lungo è stato il periodo di quiescenza che l'ha preceduta. A questi eventi esplosivi seguono periodi di attività eruttiva a condotto aperto, con il magma che riempie il condotto e raggiunge generalmente il fondo del cratere. Questi periodi sono caratterizzati dal succedersi a brevi intervalli temporali di eruzioni effusive, esplosive di bassa energia e miste.
Alla luce del comportamento passato del Vesuvio, si ritiene che l'eruzione del 1944 abbia segnato la fine di un periodo di attività eruttiva a condotto aperto (che durava fin dalla grande eruzione del 1631) e l'inizio di un periodo di quiescenza a condotto ostruito. Dal 1944 ad oggi il vulcano ha dato solamente modesti segni di vita quali attività fumarolica, prevalentemente all'interno del cratere, e terremoti di bassa energia con ipocentri fino a 6 km di profondità. Non ci sono state deformazioni del suolo né si è registrata alcuna variazione di parametri fisici e chimici che possa indicare una riattivazione della dinamica del sistema. I risultati di indagini geofisiche sulla struttura profonda del vulcano indicano che non ci sono accumuli di significativi volumi di magma nei primi 10 km di crosta.
Il comportamento passato e lo stato attuale del Vesuvio suggeriscono che il vulcano può riprendere la sua attività eruttiva e che, se un'eruzione avverrà nelle prossime decine di anni, potrà essere di tipo esplosivo. Pertanto il Vesuvio è un vulcano altamente pericoloso.
Lo scenario di riferimento utilizzato per il piano di emergenza della Protezione Civile è riferito all'eruzione del 1631 e prevede che potranno verificarsi dapprima una serie di esplosioni connesse alla riapertura del condotto, precedute da sismicità, deformazione del suolo, incremento delle emissioni gassose, attivazione di nuove fumarole e apertura di fratture. Si innalzerà poi dal vulcano una colonna eruttiva composta da vapore, gas, frammenti di magma (pomici e ceneri) e frammenti di roccia (litici), che potrà raggiungere un'altezza di decine di chilometri. La parte sommitale della colonna tenderà a espandersi radialmente, ma spinta dai venti in quota, si muoverà verso Est, secondo la direzione dei venti prevalenti in alta quota. Dispersa dal vento, la nube farà cadere una pioggia di frammenti piroclastici in una zona sottovento, l'accumulo di queste particelle al suolo potrà provocare il crollo di tetti (sovraccarichi

accidentali stimati in circa 300 kg/m^2), impedire il funzionamento di alcune reti di servizi e indurre problemi respiratori. La parte della colonna eruttiva che non riesce a sostenere il peso del materiale solido trasportato, collasserà al suolo generando flussi piroclastici, che avanzeranno lungo i versanti del vulcano a grande velocità ed elevato potere distruttivo. Probabili piogge indotte dalle perturbazioni delle condizioni atmosferiche causate dall'eruzione potranno mobilizzare il materiale piroclastico depositato al suolo, provocando colate di fango e alluvionamenti delle aree morfologicamente depresse.
Le evidenze storiche dell'esistenza di fenomeni precursori e la conoscenza oggi acquisita sulla struttura e storia del vulcano, hanno permesso di definire livelli di allerta, in funzione dei quali il piano di emergenza si articola in varie fasi. Tali livelli caratterizzano l'evoluzione del vulcano fino all'eruzione e sono definiti da variazioni della sismicità, del campo gravimetrico e magnetico, della composizione chimica e della temperatura delle fumarole, da progressive deformazioni del suolo, ecc. I livelli sono stati definiti anche per analogia con l'andamento delle variazioni di parametri fisici e chimici registrate su vulcani simili per struttura al Vesuvio. I dati raccolti sull'attività del Vesuvio negli ultimi decenni hanno consentito di definire il livello base, caratteristico del vulcano negli ultimi decenni. Tale livello è rappresentato da assenza di deformazione del suolo, bassa sismicità, assenza di significative variazioni del campo gravimetrico, valori costanti di composizione e valori decrescenti della temperatura dei gas fumarolici.
I livelli di allerta successivi al livello base sono legati a progressive variazioni dei parametri misurati.

Livelli di allerta	Stato del vulcano	Probabilità di eruzione	Tempo di attesa eruzione	Sistema di protezione civile			Fasi
				Comunità scientifica	Risposte operative		
Base	Nessuna variazione significativa di parametri controllati	Molto bassa	Indefinito, comunque non meno di diversi mesi	Attività di sorveglianza secondo quanto programmato	Commissione Nazionale	Attività ordinaria	
Attenzione	Variazione significativa di parametri controllati	Bassa	Indefinito, comunque non meno di diversi mesi	Stato di allerta tecnico-scientifico ed incremento dei sistemi di sorveglianza	Dipartimento della Protezione Civile	– Attivazione della fase di attenzione – Comunicazione al Prefetto di Napoli	**I FASE Attenzione**
					Prefettura di Napoli	– Convocazione del C.C.S. – Organizzazione supporto logistico alla Comunità Scientifica – Organizzazione delle prime informazioni alla popolazione unitamente ai Sindaci dei comuni interessati – Comunicazione a: a) Dipartimento della Protezione Civile b) Ministero dell'Interno c) Presidente Giunta Regionale Campana d) Presidente Amministrazione Provinciale di Napoli e) Sindaci	
Preallarme	Ulteriore variazione di parametri controllati	Media	Indefinito, comunque non meno di alcune settimane	Continua l'attività di sorveglianza; simulazione dei possibili fenomeni eruttivi	Dipartimento della Protezione Civile	– Attivazione della fase di preallarme – Richiesta dichiarazione Stato d'Emergenza – Convocazione Comitato Operativo di Protezione Civile – Nomina del Commissario Delegato da parte del P.C.M. – Attivazione della Direzione di Comando e Controllo	**II FASE Preallarme**
					Dipartimento della Protezione Civile (DI.COMA.C)	– Attivazione del C.C.S. nelle Prefetture della Campania e delle regioni ospitanti – Attivazione degli organismi Regionali e Provinciali di P.C. della Campania e di tutte le regioni ospitanti – Posizionamento soccorritori – Allontanamento spontaneo della popolazione	
Allarme	Comparsa di fenomeni con andamento di parametri controllati che indicano una dinamica pre-eruttiva	Alta	Da settimane a mesi	Sorveglianza con sistemi remoti	Dipartimento della Protezione Civile (DI.COMA.C)	– Attivazione della fase di preallarme – – – – – – –	**III FASE Allarme**
	Evento in corso (eruzione)			Sorveglianza con sistemi remoti; definizione cono di interferenza dell'eruzione con la zona gialla	Dipartimento della Protezione Civile (DI.COMA.C)	– Controllo fenomeno per la definizione delle aree della zona gialla da evacuare – Raccolta, elaborazione e catalogazione dati sull'andamento del fenomeno e della operazione – Predisposizione strutture ricettive della Campania ed evacuazione zona gialla	**IV FASE Evento in corso**
				Continua la sorveglianza con sistemi remoti; inizia la ricostruzione dei criteri di sorveglianza in loco	Dipartimento della Protezione Civile (DI.COMA.C)	– Ricollocazione delle strutture operative sul territorio – Operazioni tecnico-scientifiche di verifica del territorio finalizzate al rientro della popolazione (Regione, Provincia, Comuni, Prov. OO.PP., Gruppi Nazionali, VV.FF.)	**V FASE Dopo l'evento**
					Dipartimento della Protezione Civile	– Rientro controllato – Richiesta revoca Stato d'Emergenza	

Il piano di emergenza in caso di eruzione del Vesuvio individua le azioni da compiersi in funzione del livello di allerta e tre specifiche aree di intervento, denominate Zona Rossa, Zona Gialla e Zona Blu, sulla base del tipo e dell'entità dei pericoli da cui potrebbero essere interessate, riportate nella figura di seguito riportata.



La Zona Rossa è stata individuata sia utilizzando i dati relativi alla distribuzione dei prodotti delle eruzioni pliniane e subpliniane, sia simulando al calcolatore le diverse fasi dell'eruzione massima attesa. Vaste porzioni di questa zona potrebbero essere invase da flussi piroclastici e colate di fango e coperte da spessi accumuli di prodotti da caduta. Essa ha un'estensione di circa 200 km^2 e comprende 18 Comuni, tutti della Provincia di Napoli, in cui vive una popolazione di circa 600.000 abitanti. Durante l'eruzione del 1631, quasi il 20% di questa zona fu distrutto da flussi piroclastici. La parete del Monte Somma che negli ultimi secoli ha protetto i centri abitati ubicati a Nord dalle colate laviche, potrebbe non essere alta abbastanza da impedire il suo scavalcamento da parte dei flussi piroclastici. Per questo motivo la Zona Rossa ha geometria circolare. Per la velocità e l'elevato potere distruttivo dei flussi piroclastici, le popolazioni dovranno allontanarsi da questa zona prima dell'inizio dell'eruzione.
La Zona Gialla è quell'area che potrebbe essere interessata da caduta di particelle con carico maggiore di 300 kg/m^2, che provocherebbe il collasso dei tetti delle costruzioni. Essa ha un'estensione di 1.100 km^2 e comprende alcune decine di Comuni delle province di Napoli, Salerno, Avellino, Caserta e Benevento. Solamente un settore di questa zona sarà interessato dalla caduta di grandi quantità di ceneri, pomici e frammenti di roccia, che potranno provocare crollo di tetti, oscurità, disturbi alla respirazione, blocco dei motori, difficoltà di circolazione dei veicoli ed interruzione del normale funzionamento delle reti di servizi. Il settore della zona gialla che sarà interessato dalla caduta di particelle non può essere individuato in anticipo perché esso sarà definito dall'altezza che la colonna eruttiva raggiungerà e dalla direzione e velocità dei venti in quota al momento dell'eruzione. Pertanto, solo una parte degli abitanti della zona gialla dovrà allontanarsi durante l'eruzione. Nel 1631 circa il 10% di quest'area fu gravemente danneggiata.
La Zona Blu è quell'area che, oltre ad essere esposta a caduta di particelle con carico superiore a 300 kg/m^2, potrebbe essere invasa da colate di fango ed essere interessata da inondazioni e alluvionamenti. Essa ha un'estensione di circa 100 km^2 e corrisponde alla conca di Nola.

Scenari di pericolosità connessi a eruzioni dei Campi Flegrei

Il comportamento passato e lo stato attuale della caldera dei Campi Flegrei indicano che la stessa costituisce un vulcano ancora attivo che potrà dare in futuro nuove eruzioni. Se un'eruzione dovesse avvenire nelle prossime decine di anni, potrà essere di tipo esplosivo. Pertanto la caldera è un vulcano altamente pericoloso. Oltre 300.000 persone vivono all'interno della parte oggi attiva dell'intera struttura, corrispondente alla caldera del Tufo Giallo Napoletano, mentre quelle che vivono nelle sue immediate vicinanze sono più di un milione. Per l'alta pericolosità della caldera e per l'intensa urbanizzazione sia al suo interno che nelle aree limitrofe, il rischio vulcanico è estremamente alto.
L'eruzione del Tufo Giallo Napoletano ed il relativo collasso calderico hanno significativamente modificato le condizioni del vulcano. Inoltre, la relazione tra dinamica della caldera del Tufo Giallo Napoletano e localizzazione dei centri eruttivi nel tempo, mostra che durante il secondo periodo di quiescenza (8.200 - 4.800 anni fa) e, in particolare, prima dell'inizio della terza epoca, c'è stata una modificazione nel campo di sforzo all'interno della caldera. Questo campo non ha più subìto modificazioni come dimostrano la geometria delle deformazioni del suolo e la sismicità durante i recenti eventi bradisismici. Pertanto, ai fini della valutazione della pericolosità della caldera, è significativo prendere in considerazione gli ultimi 5.000 anni di attività e il suo stato attuale. Non essendo possibile, come per il Vesuvio, individuare un'eruzione di riferimento, lo scenario è stato costruito in base alle fenomenologie eruttive (tipo di eruzione, volume di magma emesso) che più frequentemente si sono manifestate. Queste sono fondamentalmente caratterizzate da alternanze di esplosioni magmatiche e freatomagmatiche. Le esplosioni magmatiche determineranno la formazione di una colonna sostenuta, con un comportamento simile a quello descritto per lo scenario eruttivo del piano di emergenza "Vesuvio" e conseguente caduta di particelle al suolo.
Le esplosioni freatomagmatiche genereranno correnti piroclastiche (prevalentemente *surges*), che fluiranno al suolo ad alta velocità. In relazione allo scenario eruttivo ipotizzato dalla comunità scientifica, e alle carte di pericolosità da questa prodotte per le fenomenologie eruttive, la Protezione Civile ha definito l'area a più alto rischio.
Quest'ultima comprende l'area esposta al pericolo di scorrimento di correnti piroclastiche, ed individuata come Zona Rossa nella figura riportata, attualmente abitata da circa 350.000 persone.

In essa ricadono i comuni di Monte di Procida e Bacoli e parte di quelli di Pozzuoli e Napoli. In considerazione delle prevedibili variazioni dei parametri fisici e chimici del sistema vulcanico che saranno registrate dal sistema di sorveglianza dell'Osservatorio Vesuviano, sono stati definiti quattro livelli di allerta. Questi vanno dal livello di base, che caratterizza lo stato attuale della caldera, al livello di allarme, caratterizzato da un'alta probabilità di eruzione. In quest'ultimo caso la Protezione Civile ha previsto l'allontanamento della popolazione dalla zona rossa, e il suo trasferimento in altre regioni italiane.

Livelli di allerta	Stato del vulcano	Probabilità di eruzione	Tempo di attesa eruzione	Azioni	Comunicazioni
Base	Nessuna variazione significativa di parametri controllati	Molto bassa	Indefinito, comunque non meno di alcuni mesi	Attività di sorveglianza secondo quanto programmato	L'Osservatorio Vesuviano produce bollettini semestrali sull'attività del vulcano
Attenzione	Variazioni significative di parametri controllati	Bassa	Indefinito, comunque non meno di alcuni mesi	Stato di allerta tecnico-scientifico ed incremento dei sistemi di sorveglianza	L'Osservatorio Vesuviano quotidianamente produce un bollettino e comunica le informazioni sullo stato del vulcano al Dipartimento della Protezione Civile
Preallarme	Ulteriori variazioni di parametri controllati	Media	Indefinito, comunque non meno di alcune settimane	Continua l'attività di sorveglianza; simulazione dei possibili fenomeni eruttivi	L'Osservatorio Vesuviano comunica continuamente le informazioni sullo stato del vulcano al Dipartimento della Protezione Civile
Allarme	Comparsa di fenomeni e/o andamento dei parametri controllati che indicano una dinamica pre-eruttiva	Alta	Da giorni a mesi	Sorveglianza con sistemi remoti	L'Osservatorio Vesuviano comunica continuamente le informazioni sullo stato del vulcano al Dipartimento della Protezione Civile

I VULCANI INSULARI

L'Etna

L'Etna, con i suoi 3350 m di altitudine e i 35 km di diametro alla base, è il vulcano attivo più grande d'Europa.
L'edificio vulcanico presenta quattro crateri sommitali denominati: Bocca Nuova, Voragine, Cratere di nord-est e Cratere di sud-est, aventi ciascuno un diametro di circa 200 metri. Inoltre sulle sue pendici si trovano centinaia di coni avventizi, formatisi durante le eruzioni susseguitesi nel corso dei millenni. La struttura morfologica forse più caratteristica dell'Etna è la Valle del Bove, una depressione che si apre verso il mare sul fianco orientale del vulcano. La valle è larga circa 5 km e lunga 8, mentre la scarpata, nella sua parte più scoscesa è alta 1200 m. L'origine di questa depressione è da imputare ad una o più frane verificatesi sul fianco del vulcano probabilmente nel corso di eruzioni esplosive. La prima fase eruttiva dell'Etna è iniziata circa 300mila anni fa con eruzioni sottomarine. Durante questo tipo di eruzioni, la lava che fuoriesce da fratture del fondale, essendo sottoposta alla pressione idrostatica e alle basse temperature, si raffredda repentinamente attorno alla bocca di emissione dando luogo a morfologie molto caratteristiche chiamate lave a cuscino (*pillow lavas*). I prodotti di tale fase eruttiva dell'Etna sono visibili tuttora sulla rupe di Aci Castello. La maggiore eruzione dell'Etna in tempi storici fu quella del 1669, che vide l'apertura di una bocca eruttiva in prossimità di Nicolosi, a soli 800 m di quota, con un'attività di tipo stromboliano che produsse i coni dei Monti Rossi. L'attività effusiva iniziò l'11 marzo e la colata lavica raggiunse la città di Catania il 16 aprile e ne distrusse una buona parte prima di riversarsi in mare. In occasione dell'eruzione del 1669 venne effettuato il primo rudimentale tentativo di

deviazione di una colata lavica da parte dell'uomo. Fonti storiche riferiscono che un gruppo di persone, armate di pale e picconi, riuscì a creare una breccia nel canale lavico in prossimità di Nicolosi e a far defluire parzialmente la colata verso ovest. Trascurando il tentativo fatto nel 1669, il primo reale intervento al mondo di deviazione di una colata lavica venne realizzato dal Dipartimento della Protezione Civile durante l'eruzione del 1983. Successivamente tale tipo di intervento è stato ripetuto (con modalità differenti e con maggior successo) in occasione delle eruzioni del 1992, 2001 e 2002.
L'emergenza Etna 2002-2003 è stata caratterizzata dalla concomitanza dell'eruzione vulcanica e di una sequenza sismica che ha interessato molti comuni dell'area etnea.
Il tipo di attività dell'Etna è tale da rendere assolutamente improbabile la perdita di vite umane per gli effetti di un'eruzione. Le eruzioni dell'Etna infatti sono caratterizzate prevalentemente da attività stromboliana, effusione di colate laviche ed emissioni di ceneri. Le eruzioni possono avvenire dai crateri sommitali o da bocche che si possono aprire sui fianchi del vulcano, dando luogo in molti casi a coni avventizi come quelli che si ritrovano in gran quantità sulle pendici dell'Etna. L'attività stromboliana interessa generalmente un'area limitata intorno alla bocca eruttiva e normalmente non rappresenta un agente di rischio per i centri abitati.
Le emissioni di cenere non costituiscono un fattore di rischio per la vita umana, sebbene possano causare notevoli disagi alla circolazione aerea e stradale, danni economici e, in caso di esposizione prolungata senza opportune precauzioni, patologie all'apparato respiratorio. Le colate laviche dell'Etna, a causa della loro viscosità e della conseguente bassa velocità con la quale si muovono, non sono tali da costituire un pericolo per l'incolumità delle persone. Nel caso in cui la fuoriuscita di lava avvenga da bocche poste ad alta quota, raramente i flussi raggiungono i centri abitati. Solamente nel caso di eruzioni di lunga durata, si può presentare tale eventualità. La lava in tali casi può anche formare dei tunnel e scorrere al loro interno, per poi fuoriuscire più a valle formando le cosiddette bocche effimere. Nel caso in cui le colate giungano a minacciare un centro abitato, è comunque normalmente possibile attuare interventi di condizionamento del loro percorso, mediante tecniche differenti che possono consistere nella costruzione di barriere in terra, nella brecciatura degli argini dei canali per provocarne il deflusso in direzione diversa, nell'escavazione di canali artificiali, ecc., come già è stato fatto nel corso delle eruzioni del 1983, 1992, 2001 e 2002. È bene sottolineare che, negli ultimi due casi, gli interventi erano volti a proteggere infrastrutture turistiche poste ad alta quota, ben lontane dai centri abitati.
Il rischio maggiore si ha quando l'effusione di lava avviene da bocche poste a bassa quota: in tal caso il tempo per effettuare interventi di condizionamento dei flussi sarebbe chiaramente ridotto e più probabilmente si dovrebbe ricorrere all'evacuazione della popolazione dalle aree minacciate, in conformità ai piani d'emergenza. Occorre comunque considerare che il sistema strumentale di monitoraggio di cui l'Etna è provvisto, è tra più avanzati al mondo e consente di prevedere con buon anticipo l'inizio di un'eruzione. In particolare le eruzioni laterali, per le loro caratteristiche, vengono normalmente precedute da sequenze sismiche ben identificabili che permettono di individuare con buona precisione in che zona si aprirà la bocca eruttiva.

Cronologia degli eventi principali

26 ottobre 2002 - h 22.25: inizio dell'attività eruttiva prima sul versante settentrionale e poi meridionale dell'Etna, preceduta di poche ore da uno sciame sismico.

29 ottobre - h 11.02: terremoto di Magnitudo 4.4 (scala Richter) e Intensità VIII (scala MCS), il maggiore della sequenza, con epicentro a S. Venerina (CT).

23 novembre: la colata lavica sul versante sud dell'Etna raggiunge i 2100 m e dirige verso il Rifugio Sapienza.

24 novembre: i lavori di movimentazione di terra per la costruzione di argini hanno successo: la colata lavica devia dal suo percorso e si ferma in prossimità della Strada Provinciale n. 92 senza interessare le strutture turistiche in zona Sapienza.

2 dicembre - h 13.28: terremoto di Magnitudo 3.6 e Intensità VI grado a Giarre.

10 dicembre: un nuovo flusso lavico dirige verso il Rifugio Sapienza.

16 dicembre: la colata lavica oltrepassa gli argini eretti a difesa delle infrastrutture turistiche, distrugge il Centro Servizi, il locale Esagonal e taglia la Strada Provinciale n. 92 per poi fermarsi poco a valle della stessa.

17 dicembre: cessa definitivamente l'emissione di ceneri che si era finora alternata a fasi di attività stromboliana.

29 gennaio 2003: cessa l'attività eruttiva dell'Etna e i parametri geochimici e geofisici tornano sui livelli antecedenti l'inizio dell'eruzione.

Nel corso dell'emergenza sono stati elaborati i piani d'emergenza per i Comuni di Linguaglossa e Ragalna, che si vanno ad aggiungere a quelli di Belpasso, Nicolosi e Mascalucia, già predisposti.

Interventi per fronteggiare gli effetti della ricaduta di ceneri

L'eruzione 2002-2003 è stata caratterizzata dalla grande quantità di ceneri espulse dal vulcano e ricadute anche a centinaia di chilometri di distanza. È stato stimato che nei primi due giorni dell'eruzione sono stati emessi circa 37 milioni di tonnellate di ceneri. Dopo quattro giorni dall'inizio dell'eruzione nella zona del Sapienza erano caduti circa 38 kg/m^2, a Nicolosi 9 kg/m^2 e a Catania 2,5 kg/m^2. Il fenomeno si è poi protratto, con fasi alterne, fino al 17 dicembre. La caduta di ceneri ha causato notevoli danni all'agricoltura, forti disagi al traffico aereo e all'aeroporto di Catania (che è stato chiuso più volte per diversi giorni), ha impegnato il Dipartimento e le forze del volontariato nella distribuzione di mascherine protettive, ha richiesto ai cittadini di adottare misure preventive per evitare complicazioni alle vie respiratorie e di effettuare la pulizia dei tetti delle abitazioni, ha imposto uno sforzo eccezionale agli enti preposti alla pulizia di strade e autostrade al fine di evitare incidenti nonché l'intasamento delle reti fognarie.

Stromboli

Lo Stromboli raggiunge la quota di 926 m s.l.m., ma quella visibile è solo una minima parte dell'intero edifico vulcanico che prosegue al di sotto del livello del mare per circa 2000 m fino a raccordarsi con i fondali del Mar Tirreno. L'altezza totale del vulcano è quindi di circa 3000 m e paragonabile a quella dell'Etna. Lo scoglio di Strombolicchio è quanto rimane di un antico edificio vulcanico. Inizialmente infatti (circa 230mila anni fa) il centro eruttivo era localizzato lì. Successivamente, con lo spostarsi dell'attività verso sud-ovest, Strombolicchio non diede più eruzioni e il suo edificio è stato progressivamente smantellato dell'erosione del mare e dei venti. Ciò che vediamo oggi è soltanto il magma consolidato all'interno del camino vulcanico (*neck*), che presenta una maggiore resistenza agli agenti erosivi. La *Sciara del Fuoco* è una depressione formatasi circa 5000 anni fa per il collasso di un fianco dell'edificio vulcanico. In questa zona si riversano per la gran parte i prodotti delle eruzioni. La *Sciara del Fuoco* prosegue al di sotto del livello del mare oltre i 600 metri di profondità.
Stromboli è un vulcano in attività persistente da almeno un millennio, caratterizzato normalmente da esplosioni di moderata energia che ricorrono con una frequenza media di 10-20 minuti. L'energia relativamente contenuta delle esplosioni ordinarie e la persistenza dell'attività non impediscono al vulcano di produrre anche fenomeni eruttivi violenti e maremoti in grado di creare pericolo sia nella parte alta della montagna sia, in misura minore, nelle zone abitate. Sull'isola si trovano infatti due centri abitati: Stromboli e Ginostra, situati rispettivamente lungo la costa nord-orientale e sud-occidentale.

Attività ordinaria

Le esplosioni dell'attività ordinaria sono caratterizzate dal lancio di brandelli di lava, gas e ceneri con associata ricaduta di materiali pesanti fino ad una distanza di alcune centinaia di metri dalle bocche. I sentieri utilizzati per la salita al Pizzo Sopra la Fossa non sono quindi normalmente interessati dalla ricaduta di materiale. Saltuariamente l'attività è accompagnata da emissioni di lava che si riversano in forma di colata all'interno della *Sciara del Fuoco.* L'attività persistente e le effusioni laviche non

costituiscono una fonte di pericolo diretta per i centri abitati e per gli escursionisti, sebbene l'attività effusiva possa introdurre degli elementi di instabilità del versante della *Sciara del Fuoco* e indurre processi franosi anche di grosse dimensioni con conseguente possibile formazione di maremoti. I fenomeni in grado di recare pericolo al di fuori della *Sciara del Fuoco* sono le esplosioni parossistiche e i maremoti.

Esplosioni parossistiche

Le esplosioni parossistiche hanno un carattere improvviso e consistono in vere e proprie "cannonate", accompagnate da forti detonazioni, che lanciano bombe e blocchi a distanze di alcune chilometri dai crateri. La caduta di materiali pesanti interessa la parte alta della montagna ed occasionalmente i centri abitati. Oltre alla caduta di materiale pesante, altri pericoli connessi alle esplosioni parossistiche sono gli incendi innescati dalla ricaduta di materiali incandescenti sulla vegetazione e la formazione di valanghe di materiale caldo che possono scendere nel Vallonazzo e nella Rina Grande/Schicciole fino al mare.

Maremoti

I maremoti hanno generalmente intensità medie inferiori a quella del 30 dicembre 2002 ed avvengono, normalmente, in coincidenza con le esplosioni violente o con frane di grosse dimensioni. Il maremoto del 30 dicembre 2002 è stato innescato da una grande frana sottomarina poi propagatisi nella parte emersa. Il sistema di sorveglianza operante a Stromboli, permette di riconoscere l'eventuale approssimarsi di tali fenomeni e di segnalare alla popolazione il possibile accadimento di eventi pericolosi.

Descrizione dell'eruzione 2002-2003

Il 28 dicembre 2002 il vulcano è entrato in una fase eruttiva del tutto particolare, con sviluppo di colate laviche lungo la *Sciara del Fuoco* e fenomeni franosi di grandi proporzioni. In particolare, il 30 dicembre 2002 si è staccata una frana di circa 16 milioni di metri cubi di materiale; la parte sommersa della frana (8 milioni di metri cubi) ha generato un maremoto che ha colpito le coste dell'isola e raggiunto anche le altre isole Eolie e le coste della Calabria e della Sicilia.
Dopo la frana l'attività eruttiva si è concentrata in una bocca aperta a quota 500 m, nella *Sciara del Fuoco,* dalla quale è fuoriuscita una colata lavica. L'apertura della bocca effusiva a quota relativamente bassa ha prodotto un abbassamento della lava nei condotti con conseguente sprofondamento dei crateri e immediata cessazione dell'attività stromboliana. Il 5 aprile, mentre era ancora in corso l'emissione di lava da una bocca situata a 550 m, si è verificata una violenta ed improvvisa esplosione ai crateri centrali, come non si registrava da almeno 50 anni. I brandelli di lava e i blocchi espulsi sono ricaduti nella parte alta della montagna a quote superiori a 400 m; alcuni blocchi sono caduti anche a quote basse sul versante sud-occidentale, colpendo un paio di case nella frazione di Ginostra. Dopo una replica esplosiva, avvenuta il giorno 10 aprile, di intensità minore rispetto a quella del 5, il vulcano ha proseguito senza particolari cambiamenti l'emissione di lava dalla stessa bocca effusiva. Successivamente il campo lavico è apparso in evoluzione con apertura e chiusura di varie bocche effimere e sviluppo di colate sul versante della *Sciara del Fuoco.* Nel contempo riprendeva l'attività esplosiva ai crateri sommitali, con emissioni di cenere dal cratere 3 di Sud-Ovest e modeste esplosioni dal cratere 1 di Nord-Est, con lancio di brandelli di lava fino a qualche decina di metri. Dopo un periodo di decremento, l'attività effusiva è completamente cessata a decorrere dal 21 luglio, mentre l'attività esplosiva è via via incrementata fino a dare nuovamente luogo ai tipici getti di lava e gas, che raggiungono anche i 100 m sopra l'orlo craterico.

Descrizione dell'eruzione 2007

Dopo un periodo di alcune settimane di intensa attività vulcanica, caratterizzato da valori elevati dei parametri monitorati, il 27 febbraio 2007 si registra un incremento dei movimenti della *Sciara del Fuoco.* Successivamente si osserva una fase esplosiva, seguita poco dopo dall'apertura di una bocca effusiva alla base del cratere di NE e successivamente da frane lungo la *Sciara del Fuoco.* Immediatamente scattano le procedure di allertamento per l'attivazione delle sirene per l'allontanamento della popolazione dalla costa.

Cronologia degli eventi principali

27 febbraio 2007 - h 12.25: si registrano 12 eventi sismici associabili ad eventi franosi, localizzati nell'area della *Sciara del Fuoco;* alle 13.30 dalla telecamera termica si osserva un'attività di degassamento anomala localizzata nella zona posta alla base dell'area craterica (Pianoro), nonché un'attività esplosiva dalla base del cratere NE. 13.39 - frana di piccola entità lungo la *Sciara del Fuoco.* Alle 13.48 si osserva il collasso dal cratere di NE, con conseguente trabocco lavico e nuova frana lungo la Sciara. Alle 14.02 si registra l'apertura di una bocca effusiva sulla Sciara e inizio della colata lavica. Alle 14.20 dalla base dell'area craterica si sviluppano lungo il versante della *Sciara del Fuoco* due colate laviche ben alimentate che in poco tempo raggiungono il mare, causando il sollevamento di grandi nubi di vapore. Alle 19.30 si attiva un importante fenomeno franoso, sempre lungo la *Sciara del Fuoco,* che non produce onde anomale, seguito da un abbondante flusso lavico.

28 febbraio - h 12.00: l'attività effusiva si concentra ad un'unica bocca a quota 400 m molto ben alimentata.

8 marzo - h 17.55: la colata lavica è quasi ferma; i canali nella parte alta sono svuotati e solo la parte più bassa della colata è attiva.

9 marzo - h 6.00: si registra una nuova ripresa dell'attività effusiva dalla bocca di quota 400 m. Alle 13.00 si registra una velocità di deformazione della *Sciara del Fuoco* superiore a 300 mm/h. Alle 16.15 si osserva l'apertura di una nuova bocca effusiva a quota 500 m.

10 marzo - h 10.30: cessa l'emissione di lava dalla bocca effusiva apertasi nella giornata del 9 marzo.

15 marzo - h 21.37: evento esplosivo parossistico. La ricaduta del materiale espulso ha interessato il sentiero naturalistico che corre da San Vincenzo alla *Sciara del Fuoco,* ad una quota compresa tra i 200 e i 400 m s.l.m.

Dal 21 marzo al 2 aprile: la portata della colata lavica risulta discontinua, alternando aumenti repentini a momenti di totale stasi.

3 aprile - h 9.15: il flusso lavico si arresta e la colata non è più alimentata. A partire dal 3 aprile, l'evoluzione dei parametri ha continuato a mostrare una lenta tendenza al recupero dei valori normali registrati prima dell'inizio della crisi.

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 litostratigrafiche 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'inte-

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 diagenizzata/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-

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 spaziati 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**

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 cm^2. 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.

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: σ_{vo}/σ'_{vo} 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 rigidezza 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 definto dalla formula

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

dove:

e_0 indice dei vuoti corrispondente alla compattezza minima

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 subìto durante il trascinamento 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.

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 pentrometriche. 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-

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-

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'innesco 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); scoscendimenti 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 innesco 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 forma e dell'origine, le fratture possono essere definite come diaclasi, litoclasi, 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.

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%.

I

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.

L

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.

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_b) 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.

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.

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 soffice 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

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.

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 $K*V/I$ 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.

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

Rigidezza iniziale Rigidezza 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.

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 (*Spectral Analysis of Surface Waves*) 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.

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**.

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.

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 campionatore 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 campionatore 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'addizionare 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 (decantazione 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 deposti 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

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 (diaclasi), 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 cataclasite 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.

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.

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 (m_v)
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, ricompressione, 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_0, 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 pressiometro
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_c, I_l, 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 (*Bulk modulus*)
k	Coefficienti di permeabilità: generico, alla temperatura T
K_a, K_p, K_0	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_d, Q_a	Carico di rottura, ammissibile
Q_{lim}, Q_p, Q_l	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	*Rock Quality Designation*
s	Coefficiente d'immagazzinamento
SC	Argilla (o terra) sovraconsolidata
S_r	Grado o percentuale di saturazione
S_t	Sensitività
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_l, w_p, w_s	Limite liquido, plastico, di ritiro
α	Angolo di inclinazione della superficie del terreno
β	Angolo generico
γ, γ_w, γ_o	Peso specifico: generico, dell'acqua, ottimale
γ', γ_d, γ_{sat}	Peso specifico nella prova Proctor, immerso, secco, saturo
δ	Angolo d'attrito esterno
ε, ε_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
σ_x, σ_y, σ_z, σ_r,	Tensioni totali in direzione x, y, z, radiale e tangenziale,
σ_1, σ_2, σ_3	Tensioni principali
φ, φ_{cv}, φ_{ult}	Angolo d'attrito (apparente) generico, a volume costante, ultimo
φ', φ'_{cv}, φ'_{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

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

Linee Guida

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

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

2.1 Procedure per la predisposizione delle indagini

2.1.1 GENERALITÀ

Le indagini in sito e in laboratorio contribuiscono alla definizione del modello del sottosuolo, in base alle unità litotecniche presenti, ai loro rapporti stratigrafici e geometrici e ai parametri fisico-meccanici che le caratterizzano. La conoscenza di tale modello permette di effettuare valutazioni sui fenomeni di amplificazione locale per le zone stabili e su eventuali fenomeni di instabilità.

Le indagini necessarie per costruire un modello del sottosuolo, possono essere così classificate:

- rilevamenti geologici, geomorfologici e litologico-tecnici
- indagini geofisiche
- indagini geotecniche
  - indagini in sito
  - prove di laboratorio

In Appendice (capitolo 3.4) sono riportate alcune istruzioni tecniche dettagliate per l'esecuzione, l'acquisizione dati e la presentazione dei risultati delle indagini geologiche, geofisiche, geognostiche e geotecniche. Nei seguenti due paragrafi si riportano alcune informazioni e indicazioni di carattere generale.

2.1.2 TIPI DI INDAGINI

Per ricostruire il modello del sottosuolo è importante acquisire:

- una base topografica del territorio; per uno studio di MS, la scala di indagine non deve essere inferiore a 1: 10.000;
- carte tematiche del territorio; carte geologiche, geologico-tecniche, idrogeologiche, geomorfologiche, che rappresentano il prodotto di un accurato rilevamento di campagna;
- dati litostratigrafici e geotecnici acquisiti per mezzo di sondaggi meccanici e prove in laboratorio;
- dati geofisici che definiscono la velocità di propagazione delle onde sismiche all'interno dei terreni e la geometria delle unità litotecniche.

Esistono diverse prove che possono essere effettuate. Le più utilizzate sono:

- Le prove penetrometriche standard (SPT), vengono utilizzate per ottenere valori quantitativi sulla resistenza del terreno alla penetrazione. La prova consiste nel far cadere una mazza da 63.5 Kg da un'altezza di 76.2 mm (standard europeo) su una batteria di aste che possiedono, nella parte terminale, un campionatore cilindrico. Il campionatore viene infisso per 15 cm dopo di che si registra il numero di colpi necessario ad ottenere una ulteriore penetrazione nel terreno di 15 + 15 cm; tale valore rappresenta la resistenza alla penetrazione.
- Le prove penetrometriche statiche (CPT), sono basate sull'infissione di una punta nel terreno a velocità costante di 20 mm al secondo. Lo strumento è costituito da una punta e da un manicotto di attrito, che misurano rispettivamente la resistenza alla punta (q_c) e la resistenza laterale (F_s). Il rapporto di questi due valori consente una stima della natura del suolo attraversato (grana fine o grana grossa). Utilizzando opportune correlazioni la resistenza alla punta può essere utilizzata per la stima di alcune proprietà meccaniche ed è possibile ricostruire una stratigrafia approssimata del sottosuolo.

- Le prove scissometriche (*Vane test*), sono effettuate con una attrezzatura formata da una batteria d'aste al cui fondo è posto un sistema di alette a forma di croce, e all'estremità superiore uno strumento di torsione e lettura dello sforzo. Le alette vengono completamente infisse nel fondo di un sondaggio per una profondità di 50 cm; poi, mediante uno strumento di torsione vengono fatte ruotare, in modo da provocare la rottura del terreno su una superficie cilindrica. Dallo sforzo necessario a raggiungere la rottura, o momento torcente (M_t), è possibile risalire al valore della resistenza al taglio non drenata in sito (c_u).
- Le prove dilatometriche (DMT)[39], consistono nell'infiggere verticalmente nel terreno, mediante spinta statica, uno strumento di prova a lama, espandendo con del gas in pressione una membrana circolare situata su di un lato dello strumento e misurando le pressioni corrispondenti a due livelli di deformazione predeterminati della membrana. Il dispositivo di spinta può essere costituito da un penetrometro statico da 20 t di spinta effettiva, completo di batteria di aste di spinta, oppure dal dispositivo di spinta di una sonda da perforazione. L'attrezzatura dilatometrica comprende: a) lama dilatometrica (95 x 200 x 15 mm), con membrana metallica laterale espandibile per 1.1 mm al centro; b) centralina di misura; c) cavo elettropneumatico di collegamento del dilatometro con la centralina; d) bombola di gas azoto, con riduttore di pressione. Il dilatometro è spinto verticalmente nel terreno arrestando la penetrazione a intervalli di 20 cm per l'esecuzione delle misure. Raggiunta la quota di prova, si arresta l'infissione e si scarica la spinta sulle aste. Si invia gas alla membrana misurando, tramite la centralina elettro-pneumatica di superficie: a) la pressione alla quale si ha il distacco della membrana (lettura A - il segnale cessa); b) la pressione necessaria per espandere di 1.1 mm il centro della membrana (lettura B - il segnale si riattiva); c) a richiesta può essere anche misurato ed annotato il valore C della pressione che agisce sulla membrana quando, durante lo scarico del gas, la stessa si richiude sulla posizione A di riposo riattivando il segnale acustico.

Per mezzo di prove di laboratorio possono essere invece definite:

- Le proprietà indice del campione: la granulometria, il contenuto d'acqua (w), l'indice plastico (I_p), il peso naturale dell'unità di volume (γ_n), la densità relativa (D_r).
- I parametri meccanici statici - che definiscono la resistenza del terreno in termini di angolo di attrito (ϕ), coesione intercetta in termini di tensioni efficaci (c') e la resistenza non drenata in termini di tensioni totali (c_u) - e le caratteristiche di deformabilità del terreno che vengono definite dal modulo di Young (E), dal coefficiente di Poisson (ν) e dal modulo edometrico (E_d).
- I parametri meccanici dinamici, che descrivono il comportamento del terreno sottoposto a sforzi ciclici, quindi la eventuale sovrappressione dell'acqua che viene generata (ΔU), il fattore di smorzamento (D) che riassume la dissipazione di energia e il modulo di taglio dinamico a bassa deformazione (G_0). Il modulo di taglio (G_0) può essere anche ricavato, per mezzo di prove geofisiche, attraverso opportune formule di correlazione.

Tra le prove geofisiche che definiscono la velocità di propagazione delle onde sismiche all'interno dei terreni e contribuiscono alla ricostruzione geometrica dei corpi in profondità, le più importanti sono:

39 La normativa di riferimento per questa prova è: ASTM (2001) "D 6635-01 Standard Test Method for Performing DMT", Book of Standards Volume 04.09; CEN-Eurocode 7 (1999) - "Flat dilatometer test (DMT)", Part 3, Section 9.

- Prove di sismica a rifrazione, che si basano sulla registrazione mediante una serie di geofoni del tempo di arrivo della prima onda sismica generata da una sorgente di energia. I geofoni e le sorgenti si trovano in superficie, in questo modo si ottengono profili sismici lineari.
- Prove Down-Hole e Cross-Hole, che sono indagini sismiche che necessitano di fori di sondaggio opportunamente attrezzati per misurare i tempi di trasmissione di onde sismiche nel terreno: in particolare nel foro vengono disposti geofoni che registrano l'arrivo di dette onde generate artificialmente. Nei Down-Hole il foro è unico e la sorgente dell'onda si trova in superficie, mentre nei Cross-Hole i fori sono generalmente due: uno per il geofono e uno per la sorgente. Dalla individuazione e interpretazione dei tempi di arrivo delle onde S e P è possibile risarire ai valori delle velocità delle onde di taglio (V_s) e di pressione (V_p).
- Prove con dilatometro sismico SDMT, che derivano dalla combinazione della prova dilatometrica classica con una attrezzatura di eccitazione in superficie e con un geofono inserito nella lama: in sostanza si ottiene una configurazione analoga al Down-Hole ma senza il foro e quindi si può misurare anche la velocità di propagazione delle onde di taglio V_s.
- Prove ESAC o SASW, che misurano le velocità delle onde superficiali, dalle quali è ricavata la velocità delle onde S.
- Stendimenti geoelettrici (SEV e SEO), attraverso la misura della resistività dei terreni consentono la definizione della geometria dei litotipi in profondità.
- Sondaggi radar che definiscono la geometria dei litotipi in profondità.
- Misure di microtremori che misurano il periodo e l'ampiezza delle vibrazioni del suolo, dell'ordine di grandezza di 10-4 – 10-2 mm, a cui è soggetto costantemente il nostro pianeta (rumore sismico ambientale o microtremore).

2.1.3 INDICAZIONI E RACCOMANDAZIONI

Le indagini devono essere opportunamente organizzate per l'ottimizzazione dei tempi e dei costi.
Il DM 21 gennaio 1988 stabilisce che "l'ampiezza dell'indagine deve perciò essere proporzionata alle dimensioni, al tipo, alle caratteristiche strutturali, all'importanza dell'opera, alla complessità del sottosuolo ed allo stato delle conoscenze sulla zona in esame". Questo decreto dà indicazioni di carattere generale per la progettazione dei manufatti, ma accenna solo in breve alle indagini per lo studio su vaste aree.

Le Norme tecniche per le costruzioni riportano:

Le scelte progettuali devono tener conto delle prestazioni attese delle opere, dei caratteri geologici del sito e delle condizioni ambientali. [...] Le analisi di progetto devono essere basate su modelli geotecnici dedotti da specifiche indagini e prove che il progettista deve definire in base alle scelte tipologiche dell'opera o dell'intervento e alle previste modalità esecutive [...]. In funzione del tipo di opera o di intervento e della complessità del contesto geologico, specifiche indagini saranno finalizzate alla documentata ricostruzione del modello geologico. Esso deve essere sviluppato in modo da costituire utile elemento di riferimento per il progettista per inquadrare i problemi geotecnici e per definire il programma delle indagini geotecniche. [...] Le indagini geotecniche devono essere programmate in funzione del tipo di opera e/o di intervento e devono riguardare il volume significativo di cui al § 3.2.2, e devono permettere la definizione dei modelli geotecnici di sottosuolo necessari alla progettazione.

Per la progettazione sismica più precisamente si stabilisce che:

Le indagini geotecniche devono essere predisposte dal progettista in presenza di un quadro geologico adeguatamente definito, che comprenda

i principali caratteri tettonici e litologici, nonché l'eventuale preesistenza di fenomeni di instabilità del territorio. Le indagini devono comprendere l'accertamento degli elementi che, unitamente agli effetti topografici, influenzano la propagazione delle onde sismiche, quali le condizioni stratigrafiche e la presenza di un substrato rigido o di una formazione ad esso assimilabile.
La caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni e la scelta dei più appropriati mezzi e procedure d'indagine devono essere effettuate tenendo conto della tipologia del sistema geotecnico e del metodo di analisi adottato nelle verifiche.
Nel caso di opere per le quali si prevede l'impiego di metodi d'analisi avanzata, è opportuna anche l'esecuzione di prove cicliche e dinamiche di laboratorio, quando sia tecnicamente possibile il prelievo di campioni indisturbati. In ogni caso, la caratterizzazione geotecnica dei terreni deve consentire almeno la classificazione del sottosuolo secondo i criteri esposti nel § 3.2.2. Nella caratterizzazione geotecnica è necessario valutare la dipendenza della rigidezza e dello smorzamento dal livello deformativo.

Anche in questo caso le indagini sono pensate come indirizzate alla progettazione di opere specifiche più che di area vasta.

Il processo di progettazione delle indagini è comunque un processo iterativo, perché i dati man mano acquisiti pongono nuovi problemi che richiedono nuove indagini per una risoluzione; ma lo è anche molto spesso per cause legate ai costi, alle disponibilità di apparecchiature e di professionisti esperti, che impongono una gradualità nell'esecuzione delle indagini.

Quanto accuratamente debbano essere accertate le caratteristiche del sottosuolo è un problema che va deciso in base alla comparazione tra obiettivi, mezzi e tempi a disposizione. In generale si può anche osservare che le indagini devono essere proporzionate anche alla complessità del problema e dei modelli di calcolo per risolverlo; infine, una valutazione dell'incertezza dei parametri dovrebbe essere sempre associata.

Per quanto riguarda la densità areale media dei punti di esplorazione, valori orientativi possono essere desunti dalla letteratura (AGI, 1977 e 2005: 0.1-2 prove /ha). I valori più alti devono essere riservati alle zone con più alto valore espositivo, alle zone con terreni di copertura meno compatti e consistenti ed alle zone che presentano una maggiore variabilità di caratteristiche.

La localizzazione va stabilita in relazione alla possibile maggiore suscettibilità dei terreni a dar luogo a fenomeni locali, allo stato delle conoscenze preesistenti, alla possibilità di accesso.

La profondità è anch'essa in relazione a diversi fattori ambientali. In generale, con i sondaggi e le prospezioni geofisiche dovrebbe essere stimata la profondità del bedrock. Indicativamente alcuni sondaggi dovrebbero raggiungere i 50 m.

I valori indicati non riguardano le zone instabili, dove i punti di esplorazione devono essere molto ravvicinati e le indagini spinte fino alla profondità necessaria per individuare la geometria e i caratteri delle formazioni di caratteristiche scadenti.

2.2 Procedura per la stesura della Carta delle indagini

La Carta delle indagini è un elaborato che viene predisposto per ciascuno dei tre livelli degli studi di MS (capitolo 1.6):

- per il livello 1 devono essere rappresentate le indagini preesistenti;
- per i livelli 2 e 3 devono essere rappresentate, oltre alle indagini preesistenti, anche le prove realizzate *ex-novo*.

Per tutti i livelli devono essere evidenziate le aree dove si ritiene importante o indispensabile che vengano effettuate ulteriori indagini.

2.2.1 FINALITÀ

Nella Carta delle indagini devono essere rappresentati la localizzazione e il tipo delle indagini.
Dalla distribuzione delle indagini per l'area di studio è possibile:

- individuare le aree con minore numero di indagini e pianificare le ulteriori indagini da effettuare;
- valutare preliminarmente la qualità dello studio: maggiore sarà il numero di indagini e di dati, più affidabili saranno l'interpretazione e i risultati.

2.2.2 SCALA DI RAPPRESENTAZIONE

La scala di rappresentazione, coerentemente a quanto previsto per gli studi di MS sarà 1:10.000 o superiore.
La raccolta delle indagini disponibili dovrà essere effettuata per un'area più estesa di quella oggetto dello studio, allo scopo di comprendere e documentare nella loro completezza il modello geologico preliminare e i fenomeni naturali che possono interessare l'area e avere implicazioni nella MS.

2.2.3 RAPPRESENTAZIONE DELLE INDAGINI

Le indagini dovranno essere rappresentate, in forma simbolica per tipologia.
Considerata l'importanza dello spessore delle coperture, delle coltri di alterazione e della profondità del bedrock per la valutazione della risposta sismica locale, nella Carta dovranno essere chiaramente evidenziate le prove che hanno raggiunto il substrato.

Le informazioni relative alle prove in sito e ai punti di prelievo dei campioni, sia preesistenti che di nuova realizzazione, dovranno essere organizzate in una banca dati e georeferenziate su base cartografica CTR, tramite GIS.

Rimandando alla predisposizione di specifiche tecniche per la predisposizione della banca dati georeferenziata delle indagini, si riporta a livello indicativo un elenco, non esaustivo, delle tipologie di indagini a cui far riferimento per una preliminare classificazione:

INDAGINI GEOTECNICHE

S	Sondaggio a carotaggio continuo
S_d	Sondaggio a distruzione di nucleo
S_c	Sondaggio da cui sono stati prelevati campioni
S_p	Sondaggio con piezometro
S_i	Sondaggio con inclinometro
SPT	Prova penetrometrica in foro (SPT)
CPT	Prova penetrometrica statica con punta meccanica (Cone Penetration Test)
CPTE	Prova penetrometrica statica con punta elettrica
CPTU	Prova penetrometrica statica con piezocono
DP	Prova penetrometrica dinamica pesante
DL	Prova penetrometrica dinamica leggera
DMT	Prova dilatometrica
PP	Prova pressiometrica
VT	Prova scissometrica o Vane Test
PLT	Prova di carico con piastra
SDMT	Dilatometro sismico
P_a	Pozzo per acqua
P_i	Pozzo per idrocarburi
T	Trincea o pozzetto esplorativo
T_v	Trivellazione

INDAGINI GEOFISICHE

S_r	Profilo sismico a rifrazione
S_i	Profilo sismico a riflessione
3D	Indagine sismica 3D o tomografia sismica
DH	Prova sismica in foro tipo Down-Hole
CH	Prova sismica in foro tipo Cross-Hole
UH	Prova sismica in foro tipo Up-Hole
ReMi	Prova REfraction MIcrotremors
SCPT	Prova penetrometrica con Cono Sismico (Seismic Cone Penetration Test)
R	Misura di rumore
SASW	Spectral Analysis of Surface Waves
MASW	Multichannel Analysis of Surface Waves
SEV	Sondaggio Elettrico Verticale
SEO	Sondaggio Elettrico Orizzontale
PR	Profilo di Resistività

2.3 Procedura per la stesura della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1)

La *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica* (da qui in poi Carta) del livello 1 costituisce il documento fondamentale di questo livello di approfondimento. Tale Carta è redatta preferibilmente alla scala 1:5.000 – 1:10.000.

Questa sezione descrive i seguenti argomenti:

- delimitazione delle aree oggetto di studio;
- scelta dei dati di base;
- legenda e campo carta;
- individuazione delle sezioni geolitologiche significative.

2.3.1 DELIMITAZIONE DELLE AREE OGGETTO DI STUDIO

Le aree da cartografare sono individuate nell'ambito di confronti tra il soggetto realizzatore degli studi di MS e il soggetto proponente (generalmente rappresentato dai responsabili della pianificazione territoriale e della pianificazione per l'emergenza). La delimitazione concordata è comunque da considerare un'indicazione di massima ed in fase di stesura della Carta sono ammesse variazioni in relazione a problematiche geologiche e geotecniche individuate; in particolare, l'area di studio sarà estesa fino a comprendere la zona d'influenza dei fenomeni geologici che possono interessare l'area da microzonare.

2.3.2 SCELTA DEI DATI DI BASE

I dati di base utilizzabili, oltre alla cartografia di base disponibile, sono:

a. carte geologiche e geomorfologiche alla scala 1:5.000 – 1:10.000;
b. carta litotecnica alla scala 1:5.000 – 1:10.000;
c. logs litostratigrafici dedotti da dati di sondaggio;
d. sezioni geolitogiche costruite con dati dedotti da a., b. e c.;
e. carte di dissesto idrogeologico (es. Progetto IFFI, piani provinciali di dissesto idrogeologico, piani delle Autorità di bacino);
f. carta delle indagini.

2.3.3 LEGENDA E CAMPO CARTA

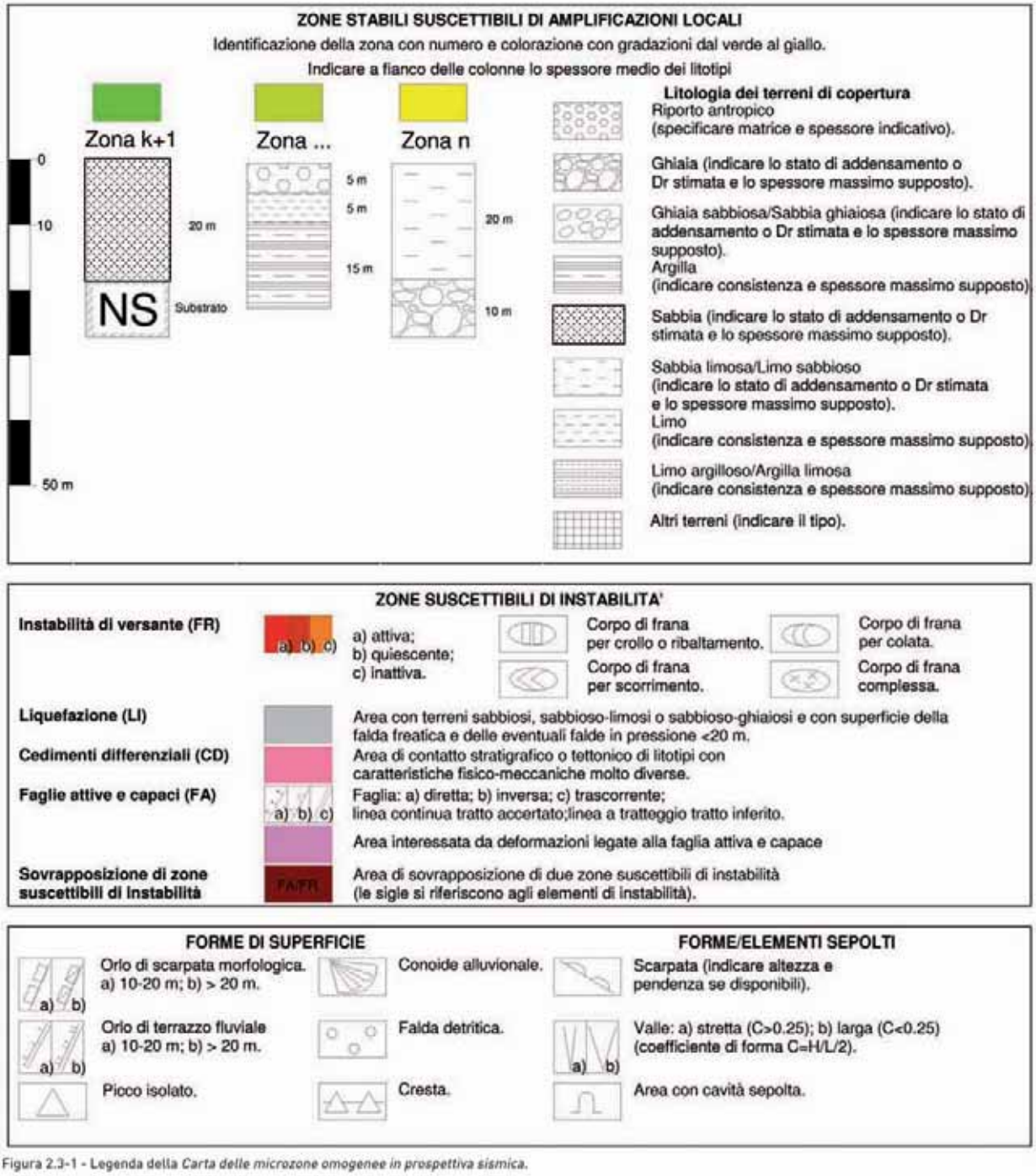


Figura 2.3-1 - Legenda della *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica.*

La Carta è realizzata per ottenere un adeguato dettaglio, utile per il raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- caratterizzazione del substrato geologico;
- caratterizzazione dei terreni di copertura;
- ricostruzione delle aree potenzialmente interessate da deformazioni permanenti in caso di evento sismico;
- definizione di forme geomorfologiche di superficie e sepolte, particolarmente importanti per problematiche sismiche.

Questi obiettivi sono perseguibili con la distinzione nel campo carta di tre tipologie di zone e con simboli indicanti forme di superficie e forme sepolte (Figura 2.3-1).

a. zone stabili, nelle quali non si ipotizzano effetti di alcuna natura, se non lo scuotimento, funzione dell'energia e della distanza dell'evento.

Sono le zone dove è affiorante il substrato geologico con morfologia pianeggiante o poco inclinata (pendii con inclinazione inferiore a circa 15°)[40].

Il soggetto realizzatore dovrà, in base alla letteratura, alle proprie conoscenze pregresse del territorio e in base ai dati raccolti, identificare le zone che più probabilmente sono caratterizzate da $V_s \geq 800$ m/s.

Si richiedono nella descrizione della zona alcune informazioni sul substrato:

- tipologia: lapideo, granulare cementato, coesivo sovraconsolidato, alternanza di litotipi, ad esempio depositi flyschoidi (differenza evidenziata con retini);
- stratificazione: *si*/no (differenza evidenziata con indici S e NS);
- grado di fratturazione; differenza in base a parametro *Jv* (si noti che zone con *Jv* > 10-15 potrebbero non essere classificate come zone stabili, ma come zone stabili suscettibili di amplificazioni locali);
- profondità nelle zone dove non affiora (con isobate);
- posizione dei sondaggi che lo intercettano.

Le zone stabili saranno differenziate in base alla tipologia, alla stratificazione e al grado di fratturazione.

Le zone di questa categoria saranno caratterizzate da colori con gradazioni di blu e da un codice progressivo, identificativo per le singole aree, da 1 a *k*.

Saranno segnalate (con retino apposito di colore rosso su sfondo bianco e non avranno codice identificativo) fasce ad elevatissima fratturazione (es. fasce milonitiche in corrispondenza di lineamenti tettonici).

b. zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto della situazione litostratigrafica e morfologica locale.

Sono le zone dove sono presenti terreni di copertura, coltri di alterazione del substrato, substrato molto fratturato, o substrato caratterizzato da velocità di propagazione delle onde di taglio ($V_s < 800$ m/s). Gli spessori di questi terreni devono essere superiori ai 5 m.

Le litologie alle quali si assimilano quelle presenti sul territorio sono:

40 Le Norme tecniche per le costruzioni e l'Eurocodice 8 prevedono che gli effetti topografici possono essere trascurati per pendii con inclinazione media inferiore a 15°.

1. riporto antropico, con l'indicazione della matrice e dello spessore indicativo;
2. ghiaia, con l'indicazione dello stato di addensamento o la *Dr* e degli spessori minimi e massimi supposti;
3. ghiaia/sabbiosa-sabbia/ghiaiosa, con l'indicazione dello stato di addensamento o la *Dr* e degli spessori minimi e massimi supposti;
4. sabbia, con l'indicazione dello stato di addensamento o la *Dr* e degli spessori minimi e massimi supposti;
5. sabbia/limosa-limo/sabbioso, con l'indicazione dello stato di addensamento o la *Dr* e degli spessori minimi e massimi supposti;
6. limo, con l'indicazione della consistenza e degli spessori minimi e massimi supposti;
7. limo/argilloso-argilla/limosa, con l'indicazione della consistenza e degli spessori minimi e massimi supposti;
8. argilla, con l'indicazione della consistenza e degli spessori minimi e massimi supposti;
9. deposito alluvionale a granulometria mista o indistinta con l'indicazione degli spessori minimi e massimi supposti;
10. detrito di versante (su pendio con acclività < 15°) a granulometria mista o indistinta e degli spessori minimi e massimi supposti;
11. coltre di substrato alterato o intensamente fratturato con l'indicazione degli spessori minimi e massimi supposti;
12. substrato caratterizzato da V_s < 800 m/s;
13. altri terreni, con l'indicazione del tipo e degli spessori minimi e massimi supposti.

Le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali sono riportate nel campo carta e ognuna ha una corrispondenza univoca con una successione litologica riportata in legenda.

Accanto a ogni litologia è riportato lo spessore medio più rappresentativo del litotipo (tenendo naturalmente conto anche degli spessori minimi e massimi indicati nella legenda). Nelle zone in cui il dato è disponibile si riporta la profondità del substrato geologico. Le successioni litologiche, per quanto è possibile, sono riportate in scala.

Le microzone di questa categoria sono caratterizzate da colori con gradazione dal verde al giallo.

Le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali saranno contrassegnate da un codice progressivo da *k*+1 a *n*.

c. zone suscettibili di instabilità, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio (non sono naturalmente esclusi per queste zone anche fenomeni di amplificazione del moto).

Le zone identificano quattro categorie di effetti deformativi:

- instabilità di versante (codice progressivo, identificativo per le singole aree, da FR_1 a FR_n).
  Distinte per tipo di frana:
  - per crollo o ribaltamento
  - per scorrimento

  - per colata
  - frana complessa

  e distinte per attività:
  - attiva
  - quiescente
  - inattiva
- liquefazione (LI_1-LI_n).
  Area con terreni sabbiosi, sabbioso-limosi o sabbioso-ghiaiosi e con superficie della falda freatica e delle eventuali falde in pressione < 15 m.
- faglia attiva e capace (FA_1-FA_n) (indicare l'area interessata dalle deformazioni legate alla faglia).
  Distinte per tipo di faglia:
  - diretta
  - inversa
  - trascorrente

  e distinte per:
  - tratto accertato
  - tratto inferito
- cedimenti differenziali (CD_1-CD_n).
  Area di contatto stratigrafico o tettonico di litotipo con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse.

La sovrapposizione di due zone suscettibili di instabilità deve essere segnalata con la presenza di entrambi i codici.

d. forme di superficie
- orlo di scarpata morfologica
  - 10 – 20m
  - > 20m
- orlo di terrazzo fluviale
  - 10 – 20m
  - > 20m
- picco isolato
- cresta
- conoide alluvionale
- falda detritica

e. forme/elementi sepolti
- scarpata
  indicare altezza e pendenza
- valle

- valle stretta C > 0.25
- valle larga C < 0.25

C coefficiente di forma (C = h/l)

dove *h* è lo spessore della coltre alluvionale, *l* la sua semiampiezza

- area con cavità sepolta.

2.3.4 INDIVIDUAZIONE DELLE SEZIONI GEOLITOLOGICHE SIGNIFICATIVE

In relazione alle caratteristiche geologiche e strutturali, alla morfologia ai rapporti tra depositi di copertura e substrato e alla distribuzione delle aree in studio sono ricostruite sezioni geologico-tecniche utili a prime considerazioni sulla pericolosità sismica locale.

In particolare, sono evidenziate le situazioni (potenziale causa di amplificazione sismica) alle quali è necessario porre attenzione per l'individuazione di sezioni 1D e 2D da sottoporre a modellazione numerica.

In relazione agli effetti dovuti ad una sollecitazione sismica, gli aspetti geologici e geomorfologici principali da considerare nel tracciare le sezioni sono così sintetizzabili:

a. amplificazione per effetti topografici e morfologici. Sono discontinuità morfologiche che possono comportare l'amplificazione del moto del suolo connessa con la focalizzazione delle onde sismiche, quali:

- pendii con inclinazione > 15° e dislivello superiore a circa 30 m;
- bordi di terrazzo o zone di ciglio (*H* > 10 m);
- creste rocciose sottili (larghezza in cresta molto inferiore alla larghezza alla base e pendenza media > 30°).

b. amplificazione per effetti litologici. L'amplificazione è legata in primo luogo a differenze in termini di rigidità sismica tra substrato e copertura e secondariamente alla conformazione geometrica con conseguenti fenomeni di focalizzazione delle onde sismiche: valli fluviali, conoidi, falde di detrito, ammassi rocciosi molto fratturati.

c. amplificazione per morfologie sepolte. In questo caso il fenomeno di amplificazione è generato a causa di un substrato roccioso con morfologia sepolta molto accidentata (es. presenza di paleoalvei). Ciò può produrre anche fenomeni di focalizzazione delle onde sismiche.

In Allegato sono riportati alcuni esempi di tale carta.

2.4 Procedura per la stesura della Carta di microzonazione sismica

La *Carta di microzonazione sismica* del livello 2 costituisce il documento fondamentale di questo livello di approfondimento. Tale Carta è redatta preferibilmente alla scala 1:5.000 – 1:10.000.

Questa sezione descrive i seguenti argomenti:

- dati di base;
- legenda e campo carta.

ZONE STABILI - Identificazione della zona con colore blu			
	FA	***FV***	**Informazioni sulle zone stabili**
	1	1	Si ricorda che zone con substrato geologico con J_v > 10-15 o con V_s < 800 m/s potrebbero non essere classificate come zone stabili

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI - Identificazione della zona con colore dal giallo al rosso			
	FA	***FV***	**Informazioni sulle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**

ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITÀ - Identificazione della zona con colore verde, sigla dell'instabilità e numerazione progressiva da 1 a n		
	Parametri quantitativi	**Informazioni sulle zone suscettibili di instabilità**
Instabilità di versante (FRT_x, FRR_x)	*Terreni(T): max spostamento (cm)* *Roccia(R): max distanza blocchi (m)* Es.FRT_1 = 20 cm ... Es. FRR_n = 150 m	
ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITÀ - Identificazione della zona con colore verde, sigla dell'instabilità e numerazione progressiva da 1 a n		
Liquefazione (LI_y)	Potenziale di liquefazione *LI* Es. LI_1 = 7 ... Es. LI_n = 18	
Cedimenti differenziali (CD_z)	(nessuno)	
Faglie attive e capaci (FA_w)	(nessuno)	
Sovrapposizione di zone suscettibili di instabilità a zone stabili suscettibili di amplificazioni locali	Il colore di fondo indica la zona stabile suscettibile di amplificazione locale (da giallo a rosso), mentre la zona suscettibile di instabilità è indicata da un tratteggio sovrapposto verde obliquo, da sinistra a destra e dal basso verso l'alto, dalla sigla e dal numero progressivo.	

Figura 2.4-1 – Legenda della *Carta di microzonazione sismica*.

2.4.1 DATI DI BASE

La Carta riporta i risultati delle analisi per la quantificazione numerica degli effetti di amplificazione o di instabilità nelle zone la cui geometria è stata riportata nella *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica* del livello 1.

Sarà possibile comunque, in base alle analisi effettuate in questo livello, che le geometrie delle suddette zone possano essere leggermente modificate.

La Carta sarà costruita sulla base dei valori di amplificazione ottenuti per ciascuna zona attraverso l'uso degli abachi (*FA* e *FV*; capitolo 2.5) e sulla base dei valori numerici attribuiti, con le metodologie semplificate descritte nei capitoli 2.6 e 2.7, per le zone suscettibili di instabilità.

2.4.2 LEGENDA E CAMPO CARTA

Nel campo carta e nella relativa legenda esplicativa (Figura 2.4-1) sono rappresentate tre tipologie di zone. Due di queste tipologie possono essere sovrapposte fra di loro.

Le tipologie di zone sono:

a. **Zone stabili**, nelle quali non si ipotizzano effetti di alcuna natura, se non lo scuotimento, funzione dell'energia e della distanza dell'evento.
Le zone di questa categoria saranno caratterizzate dal colore blu.
Sarà possibile riportare alcune informazioni di carattere generale sulle zone stabili.
Si ricorda che zone, definite stabili nella *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica* del livello 1, ma caratterizzate da J_g >10-15 o da V_s < 800 m/s potrebbero non essere classificate stabili.

b. **Zone stabili suscettibili di amplificazione**, nelle quali sono attese amplificazione del moto sismico, come effetto della situazione litostratigrafia e morfologica locale.
Le zone di questa categoria saranno caratterizzate numericamente dai valori di *FA* e *FV*, dedotti dagli abachi.
L'identificazione grafica della zona avverrà con colore dal giallo al rosso, corrispondente a valori di *FA* sempre più elevati.
Sarà possibile riportare in legenda alcune informazioni di carattere generale sulle zone stabili suscettibili di amplificazione.

c. **Zone suscettibili di instabilità**, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio. L'identificazione grafica della zona avverrà con il colore verde.
Le zone identificano quattro categorie di effetti deformativi:

- Instabilità di versante. Queste zone saranno contraddistinte dalla sigla *FRT*, se l'instabilità interessa i terreni e *FRR* se l'instabilità interessa la roccia. Ogni zona sarà identificata da un numero da 1 a *n*. In legenda sarà costruita una tabella con l'identificativo della zona (es. FRT_3 oppure FRR_3) e il parametro quantitativo, risultato delle analisi numeriche semplificate (massimo spostamento in cm per i terreni e massima distanza di arrivo dei blocchi per le rocce in *m*).

- Liquefazione. Queste zone saranno contraddistinte dalla sigla *LI* e da un numero progressivo da 1 a *n*. In legenda sarà costruita una tabella con l'identificativo della zona (es. LI_3) e il parametro quantitativo, risultato delle analisi numeriche semplificate (potenziale di liquefazione).
- Cedimenti differenziali. Queste zone saranno contraddistinte dalla sigla *CD* e da un numero progressivo da 1 a *n*. Non sono previsti, in questo livello, parametri quantitativi.
- Faglie attive e capaci. Queste zone saranno contraddistinte dalla sigla *FA* e da un numero progressivo da 1 a *n*. Non sono previsti, in questo livello, parametri quantitativi.

Nel caso di sovrapposizione di **zone suscettibili di instabilità** a **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**, il colore di fondo indicherà la zona stabile suscettibile di amplificazione locale (da giallo a rosso), mentre la zona suscettibile di instabilità sarà indicata da un tratteggio sovrapposto verde obliquo, da sinistra a destra e dal basso verso l'alto, dalla sigla e dal numero progressivo.

2.5 Procedura per la composizione e l'utilizzazione degli abachi per amplificazioni (livello 2)

2.5.1 OBIETTIVO

Definire procedure per la composizione e l'utilizzazione di abachi (per amplificazioni litostratigrafiche e per amplificazioni topografiche) che, sulla base di alcuni dati di ingresso quantitativi di semplice ed economica acquisizione, forniscano parametri che caratterizzino la risposta sismica locale in superficie per i casi di seguito specificati.

2.5.2 LIMITI DI UTILIZZO DEGLI ABACHI

2.5.2.1 LIMITI DI UTILIZZO DEGLI ABACHI PER AMPLIFICAZIONI LITOSTRATIGRAFICHE

La procedura, che segue un approccio di tipo quantitativo, fornisce una stima della risposta sismica locale in termini di fattori di amplificazione. La procedura è valida per le modificazioni del moto sismico indotte dalle specifiche caratteristiche litostratigrafiche locali e non tiene conto degli effetti topografici, degli effetti 2D e di eventuali aggravi del moto dovuti a deformazioni permanenti.

È raccomandato l'utilizzo degli abachi per un assetto geologico e geotecnico assimilabile a un modello fisico monodimensionale, cioè a *n* strati piani, orizzontali, paralleli, continui, di estensione infinita, omogenei a comportamento viscoelastico. Ogni strato è caratterizzato dallo spessore h, dalla densità ρ, dal modulo di taglio iniziale G_0 e da curve di decadimento del rapporto di smorzamento (*D*). Questi strati giacciono sul basamento sismico (bedrock).

Di grande ausilio sulla scelta di utilizzare o meno gli abachi, saranno gli elementi riportati sulla *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica* prevista nel livello 1, e, in particolare, gli elementi della carta che fanno riferimento a:

- forme acclivi di superficie (per l'identificazioni di possibili effetti di amplificazione dovuti alla topografia);
- forme articolate del substrato geologico sepolto (per l'identificazione di possibili effetti di amplificazione 2D);
- successioni litostratigrafiche che prevedano terreni rigidi su terreni soffici (profilo di V_s con inversioni di velocità);
- eventuale presenza di aree soggette a instabilità (possibili aggravi delle amplificazioni).

Questi fattori potranno quindi orientare sull'eventuale necessità di ricorrere a modelli più complessi rispetto a quelli utilizzati per la formulazione degli abachi, usando metodi di calcolo appropriati.

In presenza di bacini sepolti, ovvero di forme concave del basamento sismico con riempimenti costituiti da terreni soffici, effetti bidimensionali possono giocare un ruolo dominante e quindi rendere irrealistiche le stime degli abachi. Per valutare in prima approssimazione la presenza di questo tipo di effetti, e quindi l'applicabilità degli abachi, è possibile utilizzare l'approccio semplificato proposto da Bard e Bouchon (1985) e i dati relativi alla morfologia sepolta e al contrasto di impedenza sismica atteso alla base dei sedimenti. Come suggerito nel lavoro citato, la valutazione può essere effettuata con la formula seguente:

$$\frac{h}{l} \leq 0.65/\sqrt{C_v - 1}$$

dove:
h è la profondità della valle (massimo spessore del deposito)
l la sua semiampiezza
C_v il rapporto fra la velocità V_s nel basamento sismico e quella media nei terreni di riempimento della valle.

Se l'espressione precedente è verificata e se è forte lo smorzamento delle onde di superficie, si potrà stimare, al centro della valle, l'amplificazione con modelli 1D. Allontanandosi dal centro della valle e avvicinandosi ai fianchi, l'approssimazione fornita dal metodo 1D diventa meno soddisfacente.
Se l'espressione precedente non è verificata è necessario utilizzare un'analisi bidimensionale 2D e quindi di fatto passare a un livello di approfondimento superiore (livello 3).
La presenza di una inversione di velocità nel profilo delle V_s di una successione litostratigrafia si intende realizzata quando un terreno rigido sovrasta stratigraficamente un terreno meno rigido (soffice) con un rapporto $V_{s\,rig}/V_{s\,sof} > 2$, con la V_s dello strato più rigido maggiore di 500 m/s. In tali casi è opportuno passare a un livello di approfondimento superiore.
L'uso degli abachi è consentito comunque se l'inversione è dovuta a uno strato più rigido di spessore minore di $V_s/60$, dove V_s è la velocità media di tutta la copertura al di sopra del basamento sismico espressa in m/s.
In presenza di aree interessate da deformazioni permanenti, l'uso degli abachi per il calcolo delle amplificazioni locali è sconsigliato e si raccomanda di passare al livello di approfondimento superiore (livello 3).

2.5.2.2 LIMITI DI UTILIZZO DEGLI ABACHI PER AMPLIFICAZIONI TOPOGRAFICHE

In presenza di rilievi particolarmente acclivi, l'Eurocodice 8 indica nell'angolo formato dal pendio (α) e nella altezza del rilievo (H) gli elementi discriminanti per definire un fattore di amplificazione topografico. Sulla base delle indicazioni della norma europea, in prima approssimazione si può non tener conto della topografia, e quindi è possibile usare gli abachi per amplificazioni litostratigrafiche, se $\alpha < 15°$ e $H < 30$ m.
In generale, l'effetto litologico prevale sull'effetto morfologico, se si prevede di avere i due effetti congiunti si predilige quello litologico. In seguito si definirà una metodologia che può essere applicata esclusivamente in presenza di un bedrock sismico con particolari caratteristiche topografiche.

2.5.3 CRITERI GENERALI PER LA COMPOSIZIONE DEGLI ABACHI PER EFFETTI LITOSTRATIGRAFICI E TOPOGRAFICI (A CURA DELLA REGIONE)

2.5.3.1 EFFETTI LITOSTRATIGRAFICI

2.5.3.1.1 Dati di ingresso e definizione di modelli

Per la composizione degli abachi la Regione dovrà approntare:

- Input sismici

  Gli input potranno essere accelerogrammi, sia sintetici che reali, oppure direttamente spettri di risposta o spettri di densità di potenza.

  Il numero minimo di accelerogrammi consigliato da utilizzare per ciascun modello è 4 (NEHRP, 2003). Il numero di accelerogrammi dipenderà dalla variazione del livello di pericolosità sul territorio della Regione (macrozone sismiche).

Gli accelerogrammi sintetici saranno definiti in conformità agli studi di pericolosità sismica di base e, in particolare, si raccomanda di riferirsi a un livello di scuotimento caratterizzato da una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (T_R = 475). Per particolari tipi di opere e/o verifiche si potranno scegliere periodi di ritorno diversi (ad es. 72, 975, 2475 anni). È consigliabile uno studio di disaggregazione della pericolosità di base per determinare le coppie magnitudo-distanza più significative in funzione del periodo di ritorno considerato (scheda tecnica 2.8).

Se si utilizzano gli accelerogrammi reali si raccomanda di selezionarli tenendo conto delle caratteristiche sismotettoniche della Regione e, in particolare, del tipo di sorgente (regimi compressivi, estensivi, trascorrenti), delle magnitudo e delle distanze degli eventi che maggiormente contribuiscono alla pericolosità regionale. È necessario scegliere sempre eventi registrati su roccia o, comunque, su terreno molto rigido.

Inoltre, per gli accelerogrammi reali, si consiglia di limitare il più possibile le alterazioni finalizzate a far sì che le singole registrazioni rispettino una forma spettrale assegnata, e a far sì che si ottenga la compatibilità con lo spettro di input come media del set di accelerogrammi. È accettabile un'alterazione ottenuta scalando entro il 20% tutti i punti dell'accelerogramma reale. A scopo conservativo si possono integrare gli accelerogrammi reali così scelti, con accelerogrammi sintetici, con forma spettrale e PGA assegnati.

Poiché gli accelerogrammi (sia sintetici, che reali) sono definiti sulla superficie, in funzione del codice di calcolo adottato, può essere necessario riportare il moto di superficie all'interfaccia fra basamento sismico-terreni di copertura, operando così una deconvoluzione per trasferire il segnale in profondità.

- Modelli litologici di riferimento, intendendo una litologia prevalente per i terreni di copertura e il basamento sismico.

  Si definiranno una serie di modelli litologici, alcuni generali, altri specifici di situazioni locali (regionali) importanti e rappresentative, con profondità variabile del basamento sismico, almeno fino a un profondità di 50 metri.
- Curve di decadimento della rigidezza e curve di incremento dello smorzamento.

  Queste curve saranno associate alle litologie prevalenti di copertura. Generalmente curve di decadimento della rigidezza e curve di incremento dei fattori dello smorzamento sono selezionate sulla base di relazioni note in letteratura (Seed *et al.*, 1986; Vucetic e Dobry, 1991; Rollins *et al.*, 1998; Naso *et al.* 2005; Regione Lombardia, 2006). Specifiche prove di laboratorio sono consigliate, quando le curve di letteratura sono giudicate inadeguate per i tipi di terreni considerati nelle simulazioni numeriche.
- Profili di V_s corrispondenti a differenti V_s medie.

  Questi profili saranno associati ai modelli litologici di riferimento. Le V_s medie di questi profili dovranno coprire l'intervallo di velocità tra 100 a 750 m/s con passo a scelta di 50 o 100 m/s.

  I profili di V_s dovranno essere generalmente 3: uno con velocità costante (V_s media) per tutto lo spessore dei terreni di copertura, due con gradienti costanti, ma diversi (entrambi questi profili dovranno però avere la stessa V_s media).

2.5.3.1.2 Simulazioni numeriche

Le simulazioni numeriche possono essere sviluppate con codici lineari equivalenti 1D o non lineari. Se la risposta sismica locale è fortemente non lineare (es. alti livelli di accelerazione e terreni molto soffici), è preferibile l'utilizzo di codici non lineari.

In queste simulazioni si dovrà tenere conto delle incertezze associate alla scelta dei fattori che contribuiscono alle stime della risposta sismica locale (input sismico, spessori dei terreni di copertura, curve di decadimento, profilo di V_s). A questo scopo è opportuno eseguire varie simulazioni combinando le diverse scelte possibili. Il risultato finale sarà costituito dai fattori di amplificazione caratterizzati da una probabilità di eccedenza del 50% (valori mediani).

2.5.3.2 EFFETTI TOPOGRAFICI

2.5.3.2.1 Dati di ingresso e definizione di modelli

Profili topografici caratterizzati da diverse forme e caratteristiche geometriche.

2.5.3.2.2 Simulazioni numeriche

Le simulazioni numeriche possono essere sviluppate con codici elastici lineari almeno 2D.
In queste simulazioni si dovrà tenere conto delle incertezze associate alla scelta dei fattori che contribuiscono alle stime della risposta sismica locale (input sismico, diverse caratteristiche geometriche). A questo scopo verranno eseguite varie simulazioni combinando le diverse scelte possibili. Il risultato finale sarà costituito dai fattori di amplificazione caratterizzati da una probabilità di eccedenza del 50% (valori mediani).

2.5.3.3 DETERMINAZIONE DEI FATTORI *FA* E *FV* PER GLI EFFETTI LITOSTRATIGRAFICI

2.5.3.3.1 Risultati degli abachi

I risultati degli abachi saranno costituiti da 2 fattori di amplificazione:

- *FA*, a basso periodo (determinato intorno al periodo proprio per il quale si ha il massimo della risposta in accelerazione);
- *FV*, a periodo proprio (per il quale si ha la massima risposta in pseudovelocità).

I fattori *FA* e *FV* saranno calcolati a partire dai risultati delle analisi di amplificazione mediante la procedura descritta nei paragrafi successivi.
Si distinguono 2 casi in dipendenza della descrizione dell'input:

- spettro di input a probabilità uniforme fornito dalla Regione;
- accelerogrammi (sintetici e reali) di input.

2.5.3.3.2 Determinazione dei fattori FA e FV con input definito da spettro a probabilità uniforme

a. Si determina il periodo di massimo valore dello spettro di input (TA_i) e di quello di output (TA_o);

b. Si calcolano i valori medi degli spettri di input ($SA_{m,i}$) e di output ($SA_{m,o}$) nell'intorno di TA_i e TA_o

$$SA_m = \frac{1}{TA} \int_{0.5*TA}^{1.5*TA} SA(T)dT$$

dove:
SA_m è il valore medio dello spettro e può essere $SA_{m,i}$ o $SA_{m,o}$
$SA(T)$ è lo spettro di risposta elastico in accelerazione pari a SA_i per l'input, SA_o per l'output

TA vale TA_i per l'input TA_o per l'output

c. Si determinano i periodi (TV) e (TV_o) di massimo valore degli spettri di pseudovelocità così definiti:

$$SV(T) = SA(T) * \frac{T}{2\pi}$$

dove:

$SV(T)$ corrisponde rispettivamente a $SV_i(T)$ per l'input e $SV_o(T)$ per l'output

d. Si calcolano i valori medi degli spettri (SV_{mi}) e (SV_{mo}) nell'intorno di TV_i e TV_o:

$$SV_m = \frac{1}{0.4 * TV} \int_{0.8*TV}^{1.2*TV} SV(T)dT$$

dove:

SV_m è il valore medio dello spettro e può essere può essere SV_{mi} o SV_{mo}

TV può essere TV_i e TV_o rispettivamente per l'input e l'output.

L'intervallo di integrazione è ridotto rispetto a quello dell'accelerazione perché lo spettro di velocità ha, generalmente, un andamento più regolare.

e. Il valore di FA è pari al rapporto SA_{mo} / SA_{mi}

f. Il valore di FV è pari al rapporto SV_{mo} / SV_{mi}

2.5.3.3.3 Determinazione dei fattori FA e FV con input definito da accelerogrammi (sintetici e reali)

a. Si determinano gli spettri di risposta elastici degli accelerogrammi di input e di output.

b. Ci si riconduce al caso precedente regolarizzando[41] ciascuno spettro in modo da poter identificare per ciascuno di essi un unico valore massimo e quindi il periodo (TA) corrispondente.

Si segue la procedura esposta nel paragrafo 2.5.3.3.2, per gli spettri di input a probabilità uniforme a partire dal punto b), agendo sugli spettri regolarizzati.

2.5.4 CRITERI GENERALI PER L'UTILIZZO DEGLI ABACHI (A CURA DEL SOGGETTO REALIZZATORE DELLA MS)

2.5.4.1 DATI DI INGRESSO E MODALITÀ DI UTILIZZO DEGLI ABACHI PER GLI EFFETTI LITOSTRATIGRAFICI

La raccolta dei dati di ingresso per la scelta degli abachi sarà a cura del soggetto realizzatore dello studio della risposta sismica locale. Questi dati comprendono:

41 Poiché gli spettri di risposta di accelerogrammi sono in genere irregolari ci si riconduce a spettri in cui sia più chiara mente identificabile il periodo proprio in cui si verificano le massime ordinate.

- la macrozona di pericolosità sismica alla quale il sito appartiene; a ogni macrozona corrisponderà un input sismico diverso;
- la litologia prevalente nei terreni di copertura deducibile dai risultati del livello 1;
- la profondità del basamento sismico, ovvero la profondità dove si raggiungono velocità delle onde S superiori a 800 m/s;
- l'andamento della velocità delle onde di taglio con la profondità e la velocità media V_{sH} delle onde S nei terreni di copertura fino al basamento sismico. Questa sarà data da

$$V_{sH} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{n} \frac{h_i}{V_{si}}}$$

dove:
H è lo spessore totale (in metri) dei terreni di copertura fino al basamento sismico;
h_i è lo spessore (in metri) dell'*i-mo* degli *n* strati che costituiscono la copertura;
V_{si} è la velocità (in m/s) dell'*i-mo* strato.

In linea di principio, queste informazioni sono deducibili dal profilo di velocità delle onde di taglio stimato sperimentalmente. Nei casi in cui il profilo di velocità sperimentale non permetta di determinare la posizione del basamento sismico (es. le velocità misurate non superano 800 m/s) è necessario ricorrere ad indicazioni indirette.
Queste possono essere ottenute combinando i risultati del livello 1 (profondità del substrato geologico) e la misura del periodo proprio T_0 del sito della copertura sedimentaria (identificazione della profondità del contrasto di impedenza più importante). Infatti si ha che

$$T_0 = \frac{4h_a}{V_a}$$

dove:
h_a è la profondità del substrato geologico[42];
V_a è la velocità media delle onde S fino a quest'ultima interfaccia e quindi può essere assunta come misura di V_{sH}, ovviamente con minore attendibilità rispetto alle misure dirette.

Avendo a disposizione una stima di massima di V_a è invece possibile risalire ad h_a.
L'uso di V_a e h_a al posto di V_{sH} ed H rispettivamente, può essere preso in considerazione se sono rispettate entrambe le seguenti condizioni, approssimativamente valutabili sulla base della conoscenze della litostratigrafia e dei dati geotecnici dei depositi e del bedrock:

- il contrasto di velocità in h_a è rilevante (orientativamente maggiore di 2);
- il terreno al di sotto di h_a è abbastanza rigido (orientativamente la velocità V_s al di sotto di h_a è almeno pari a 600 m/s; se tale velocità è compresa tra 500 e 600 m/s si possono utilizzare gli abachi, ma il risultato deve essere maggiorato del 10%).

42 Occore tener conto che misure effettuate dalla superficie potrebbero identificare un orizzonte di riflessione, che non è il bedrock sismico, ma un contrasto di impedenza.

In sintesi, l'utilizzatore entrerà nelle tabelle degli abachi per le amplificazioni litostratigrafiche utilizzando i dati sopra descritti, ossia conoscendo:

- la macrozona di pericolosità sismica;
- la litologia prevalente;
- lo spessore dei terreni di copertura *H*;
- la V_{s_H} media dei terreni di copertura.

2.5.4.2 DATI DI INGRESSO E MODALITÀ DI UTILIZZAZIONE DEGLI ABACHI PER GLI EFFETTI TOPOGRAFICI

Per quanto riguarda gli effetti puramente topografici (creste e scarpate in presenza di bedrock geofisico) e nel caso in cui si abbiano $H \geq 10$ m ed $\alpha > 10°$, i dati di ingresso e per l'utilizzazione degli abachi, da parte del soggetto realizzatore della MS, sono:

a. per le creste (sono da considerare creste solo quelle situazioni che presentano *h* maggiore o uguale ad un terzo di *H*; Figura 2.5-1):

- larghezza alla base del rilievo *L*;
- larghezza in cresta del rilievo *l*;
- dislivello altimetrico massimo *H* e dislivello altimetrico minimo h dei versanti.

b. per le scarpate (sono da considerare scarpate solo quelle situazioni che presentano β inferiore o uguale ad un quinto di α e *h* minore ad un terzo di *H*; Figura 2.5-2):

- dislivello altimetrico massimo H e dislivello altimetrico minimo h;
- inclinazione (α) del fronte principale;
- inclinazione (β) del fronte superiore.

2.5.4.3 RICOSTRUZIONE DELLO SPETTRO ELASTICO IN SUPERFICIE PER AMPLIFICAZIONI LITOSTRATIGRAFICHE

Gli abachi forniscono 2 fattori di amplificazione *FA* e *FV* (come descritto nel paragrafo 2.5.3) e con questi fattori di amplificazione sarà possibile ricostruire lo spettro elastico in superficie, partendo da:

- spettro di input a probabilità uniforme forniti dalla Regione;
- spettro di norma;
- spettro rappresentativo di un set di accelerogrammi.

La procedura porta ad individuare uno spettro in superficie con forma standard costituita da un ramo ad accelerazione crescente lineare, un ramo ad accelerazione costante, ed un ramo in cui l'accelerazione decresce con 1/*T* e quindi ha pseudovelocità costante.

Per ciascuno dei casi sopra elencati si specifica la procedura da seguire nei paragrafi seguenti.

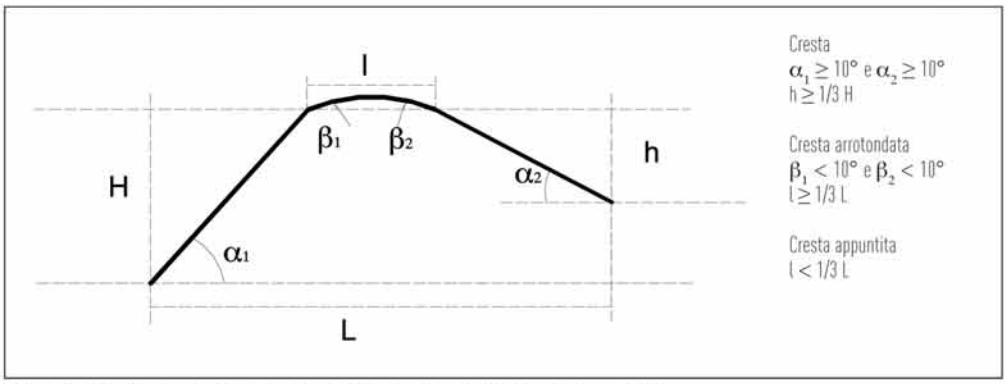


Figura 2.5-1 – Schema di riferimento per la cresta e criteri di riconoscimento.

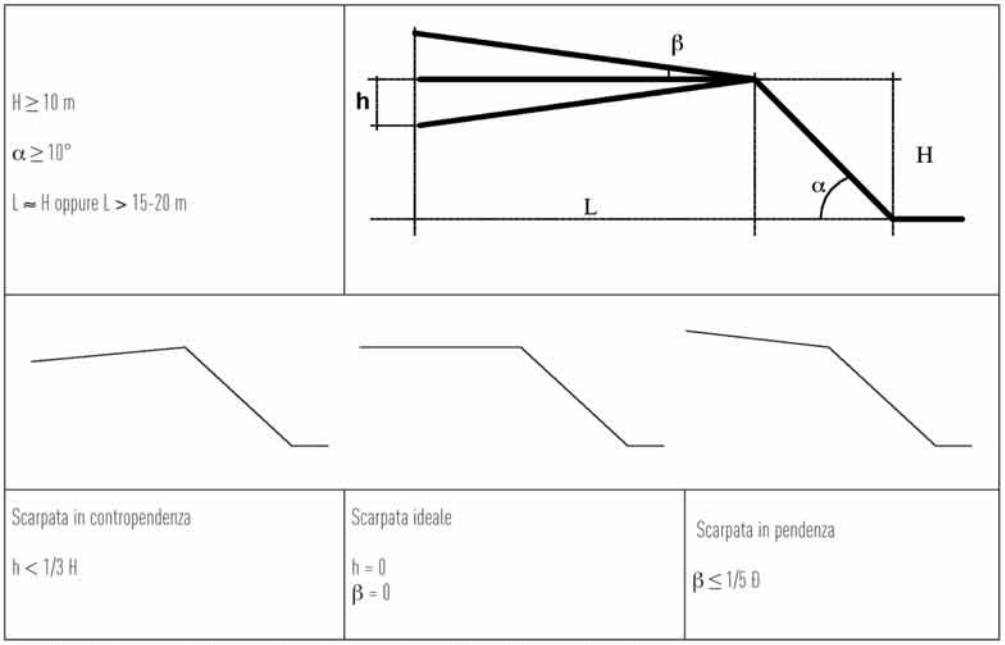


Figura 2.5-2 – Schemi di riferimento per la scarpata e criteri di riconoscimento.

2.5.4.3.1 Spettro di input a probabilità uniforme

I passi procedurali sono:

a. Si determina il periodo proprio per il quale è massimo il valore dello spettro di input (TA_i), poiché l'input è definito su roccia, normalmente questo valore è compreso fra 0.1 e 0.3 secondi;

b. Si calcola il valore medio dello spettro ($SA_{m,i}$) nell'intorno di TA_i:

$$SA_{m,i} = \frac{1}{TA_i} \int_{0.5 \cdot TA_i}^{1.5 \cdot TA_i} SA_i(T)dT$$

dove:

SA_i è lo spettro di input (spettro di risposta elastico in accelerazione).

c. Si determina lo spettro di pseudovelocità di input (SV_i) a partire da quello di accelerazione e quindi il periodo proprio (TV_i) per il quale è massimo il valore dello spettro di pseudovelocità

$$SV_i(T) = SA_i(T) * \frac{T}{2\pi}$$

Generalmente per l'input, TV_i è collocato nella zona di periodi compresa fra 0.6 e 1.4 secondi;

d. Si calcola il valore medio dello spettro ($SV_{m,i}$) nell'intorno di TV_i:

$$SV_{m,i} = \frac{1}{0.4 * TV_i} \int_{0.8*TV_i}^{1.2*TV_i} SV_i(T)dT$$

dove:
SV_i è lo spettro di input (spettro di risposta elastico in velocità).

L'intervallo di integrazione è ridotto rispetto a quello dell'accelerazione perché questo spettro ha un andamento più regolare.
In sostanza lo spettro a probabilità uniforme viene inviluppato da uno spettro standard avente il ramo ad accelerazione costante pari a $SA_{m,i}$ e il ramo a velocità costante paria $SV_{m,i}$.

e. Dagli abachi si deducono i valori di *FA* e *FV*;

f. Si determina il periodo proprio in corrispondenza del quale si incontrano i due rami dello spettro in superficie ad accelerazione costante e velocità costante:

$$T_c = 2\pi \frac{SV_{m,i}FV}{SA_{m,i}FA}$$

g. Si determina T_B come $1/3*T_C$;

h. Il ramo iniziale dello spettro fra $T = 0$ e $T = T_B$ si assume lineare con
$SA(0) = SA_i(0) * FA$ ed $SA(T_B) = SA_{m,i} * FA$;

i. Il ramo dello spettro ad accelerazione spettrale costante, fra T_B e T_C ha ordinate pari a $SA_{m,i} * FA$;

j. Il ramo dello spettro a velocità costante ($T > T_C$) ha ordinate pari a $SA_{m,i} * FA * T_C/T$;

k. Lo spettro ha l'espressione precedente fino a $T = T_D$[43].

43 Il valore del periodo proprio T_D in corrispondenza del quale cessa la validità del ramo a velocità costante è specificato nella norma e in generale è intorno ai 2 secondi.

2.5.4.3.2 Applicazione allo spettro di input della norma (suolo A)

Il valore di $SA_{m,i}$ di cui al caso precedente corrisponde al valore ad accelerazione costante di norma, il valore di $2\pi * SV_{m,i}$ corrisponde al valore dello spettro di norma per $T = 1s$, quindi è sufficiente seguire la procedura precedente dal punto f in poi.

2.5.4.3.3 Accelerogrammi (sintetici e reali) di input

a. Si determina lo spettro di risposta elastico di ciascun accelerogramma di input;

b. Si effettua la media degli spettri di cui in a.;

c. Poiché gli spettri di risposta di accelerogrammi sono in genere irregolari ci si riconduce ai casi precedenti regolarizzando lo spettro di cui in b., in modo da poter identificare un unico valore massimo e quindi il periodo (T_A) corrispondente.

Seguire la procedura per gli spettri di input a probabilità uniforme dal punto b. nel paragrafo 2.5.4.3.1, agendo sullo spettro regolarizzato.

2.5.5 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Bard, P. Y. e Bouchon, M. (1985) - The two-dimensional resonance of sediment-filled valleys, *Bulletin of the Seismological Society of America,* vol. 75, N. 2, pp. 519-541.

Naso, G., Petitta, M. e Scarascia Mugnozza G. (eds.) 2004 - *La Microzonazione sismica. Metodi, esperienze e normativa.* Dipartimento della Protezione Civile - Servizio Sismico Nazionale. CD-Rom. Università di Roma "La Sapienza" - Dipartimento di Scienze della Terra. CD-Rom, Roma.

NEHRP, National Earthquake Hazards Reduction Program (2003) - *The 2003 NEHRP Recommended Provisions For New Buildings And Other Structures.*

Regione Lombardia (2006) - *Curve di decadimento di alcuni terreni della Lombardia.* http://www.regione.lombardia.it.

Rollins, K. M., Evans, M. D., Diehl, N. B. e Daily, W. D. III (1998) - Shear Modulus and Damping Relationships for Gravels, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering,* vol. 124, N. 5, May, pp. 396-405.

Seed, H. B., Wong, R. T., Idriss, I. M. e Tokimatsu, K. (1986) - Moduli and damping factors for dynamic analyses of cohesionless soils. *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE,* 112 (GT11), 1016-1032.

Vucetic, M. e Dobry, R (1991) - Effects of the soil plasticity on ciclyc response. *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE,* vol. 117, N.1.

2.6 Procedura per la definizione delle instabilità di versante (livello 2)

Le procedure di seguito illustrate, volte a fornire una stima "quantitativa" degli effetti di un terremoto in una determinata area potenzialmente instabile, sono indirizzate alla pianificazione e gestione del territorio e hanno lo scopo di stabilire una gerarchia di pericolosità relativa tra le diverse zone, utile per valutazioni sull'uso del territorio, come piani territoriali e/o di emergenza.
In particolare dovranno essere delimitate le aree in frana o suscettibili di movimenti franosi durante e/o dopo il terremoto di riferimento, distinguendo tra le frane in pendii di terreno e le frane in roccia.
Nel caso in cui si disponga di sufficienti dati morfologici, geologici, pluviometrici, stratigrafici, geotecnici si potrà procedere ad una quantificazione della pericolosità di frana in condizioni sismiche attraverso analisi semplificate predisposte per lo studio comparativo della franosità a scala vasta.

2.6.1 FRANE IN PENDII DI TERRENO

I metodi di analisi utilizzati per le verifiche di stabilità di un pendio in condizioni sismiche sono essenzialmente di due tipi: metodi "pseudostatici", metodi "dinamici".
I metodi pseudostatici, derivanti dall'originaria proposta di Okabe (1924), assumono che l'azione sismica sia costante nel tempo e nello spazio e valutano la stessa come una forza d'inerzia proporzionale al peso W della massa potenzialmente instabile tramite un coefficiente di proporzionalità, detto "coefficiente sismico". Il valore di detto coefficiente è definito dalle normative sismiche nazionali in relazione alla sismicità dell'area. L'Eurocodice 8 suggerisce di adottare i seguenti valori per le componenti del coefficiente sismico nelle direzioni orizzontale e verticale:

$K_h = 0.5a$ $\qquad\qquad$ $K_v = 0.5\,K_h$

dove:
$a = a_{max}/g$ è il rapporto tra l'accelerazione massima di progetto e l'accelerazione di gravità g.

Il DM 14 gennaio 2008 prevede valori più articolati.
Si assume che la rottura si verifichi nei casi in cui il coefficiente di sicurezza allo scivolamento F_d, inteso come rapporto tra la resistenza disponibile e quella mobilitata, risulta uguale o minore di 1. Convenzionalmente si assume che la stabilità è verificata se F_d risulta maggiore di 1.15. Tale criterio di verifica può risultare particolarmente cautelativo in quanto, per la rapida variabilità temporale delle sollecitazioni sismiche, il coefficiente di sicurezza può risultare minore del valore di soglia prefissato soltanto durante brevi intervalli di tempo.
In particolare, trattandosi di stabilire delle priorità di intervento, ad esempio per la pianificazione dell'emergenza, non sarebbe possibile effettuare un tale tipo di valutazione basandosi esclusivamente sul fattore di sicurezza pseudostatico (minore dell'unità indistintamente per tutte le zone potenzialmente instabili).
Per valutare le condizioni di stabilità del pendio in presenza di scosse sismiche è, in generale, prefe-

ribile, pertanto, utilizzare il secondo criterio di analisi, per il quale tuttavia le informazioni necessarie per dar luogo a risultati attendibili potrebbero non rientrare in un'analisi di MS di livello 2.

I metodi di analisi dinamica basati su modelli matematici e sperimentazioni di laboratorio, prevedono innanzitutto un confronto tra lo stato tensionale indotto dal terreno e le caratteristiche di resistenza del materiale (in condizioni dinamiche).

Nel caso in cui non risulti una significativa diminuzione di resistenza, tali metodi prevedono il calcolo dello spostamento permanente verso valle che il pendio subirà sotto l'azione di un terremoto di riferimento, descritto realisticamente nelle sue caratteristiche di ampiezza e durata (Newmark, 1965).

Il calcolo degli spostamenti permanenti indotti dalle scosse sismiche, viene sviluppato in tre tappe successive:

1. Mediante un'analisi di stabilità convenzionale, imponendo la condizione che il fattore di sicurezza sia uguale ad 1, si valuta l'accelerazione esterna massima per cui il pendio si trova in condizioni di equilibrio limite ovvero di incipiente rottura. Tale valore dell'accelerazione esterna viene indicato convenzionalmente con il termine di "accelerazione di soglia" a_c che, normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità, prende il nome di "coefficiente sismico critico" K_c. Tale coefficiente, nell'ipotesi in cui non si consideri la variazione delle pressioni interstiziali, dipende esclusivamente dalla geometria del pendio e dalle proprietà meccaniche dei terreni in gioco. Il metodo originario assume che il coefficiente sia costante nel tempo e nello spazio. Tuttavia, assumere K_c costante nel tempo equivale ad ignorare gli effetti dinamici di *strain softening* e di incremento delle pressioni interstiziali e gli effetti viscosi nei terreni coesivi. Assumere K_c costante nello spazio significa invece considerare un campo di accelerazione uniforme e quindi trascurare gli effetti di amplificazione della risposta sismica. Più corretto sarebbe considerare per K_c l'espressione seguente:

   $$K_c[t] = K_c[0] * R[t] * D[t]$$

   in cui $K_c[0]$ è il coefficiente sismico critico iniziale; $R[t]$ è un coefficiente che mette in conto la variazione della resistenza con la velocità di applicazione dei carichi sismici; $D[t]$ è un coefficiente di degradazione ciclica (Crespellani, 1995).
2. Si calcola, quindi, la distribuzione nel tempo delle accelerazioni indotte al bedrock dall'evento sismico assunto ai fini dell'analisi (accelerogramma di riferimento).
3. Si determinano, infine, gli spostamenti lungo la superficie di rottura mediante una doppia integrazione numerica dell'accelerogramma che rappresenta l'andamento nel tempo delle accelerazioni inerziali indotte dal sisma nel pendio, limitando l'integrazione agli intervalli di tempo in cui la porzione di terreno delimitata dalla superficie di rottura presenta velocità diversa da quella della rimanente parte del pendio.

Ciò premesso, considerata la difficoltà di poter definire puntualmente le grandezze interessate compatibilmente con il livello di approfondimento considerato, e fermo restando l'intento di stabilire una gerarchia di pericolosità tra le diverse zone in potenziale frana, si possono considerare dei metodi alternativi, numerosi in letteratura, più cautelativi, ma di più immediato utilizzo per la previsione di grandezze indirettamente legate agli spostamenti permanenti indotti.

Tali metodi dinamici semplificati, che consistono in una valutazione semplificata eseguita con il metodo di Newmark sulla base dell'inclinazione del pendio e di un range stimato di caratteristiche meccaniche e di posizione della falda, conducono a delle correlazioni a validità areale, generalmente limitata, costruite da vari autori (fra cui Ambraseys e Menu, 1988), tra la grandezza D, espressa in unità di lunghezza, (che rappresenta il limite superiore dei risultati ottenuti e che si potrebbe definire un indicatore di spostamento), ed il rapporto di accelerazione critica K_c/k_m, dove $K_c = a_c/g$ (g = accelerazione di gravità, a_c = accelerazione critica) e $k_m = a_{max}/g$.

Una correlazione di validità regionale in tal senso, è stata prodotta per la Regione Irpinia da Simonelli e Fortunato (1996), i quali hanno stabilito, per il caso di pendio indefinito in terreni incoerenti ed in diverse condizioni di falda, la relazione tra spostamento permanente indotto e il rapporto K_c/k_m, adoperando accelerogrammi derivati dai segnali registrati dalla rete ex Enel durante il terremoto del 23/11/1980.

Atri studi proposti a riguardo, mirano a definire l'espressione del coefficiente sismico critico al variare del meccanismo di rottura ipotizzato e della eventuale presenza di rinforzi nel pendio e a studiarne, in seguito, la correlazione con lo spostamento permanente indotto.

Si cita fra questi lo studio di Cavalera e Brancucci (1995), del quale si riportano le varie espressioni del coefficiente sismico critico e la correlazione tra quest'ultimo (calcolato nell'ipotesi di pendio indefinito) e lo spostamento permanente indotto D, per otto accelerogrammi artificiali spettro-compatibili su suolo rigido definiti, in accordo con le disposizioni dell'allegato 2 dell'OPCM 3274/2003, considerando un suolo di fondazione di categoria A in zona sismica 2.

Si ottiene in particolare:

- per superficie di scivolamento piana (pendio indefinito)

$$K_c = \frac{A_1 + A_2 - A_3 + A_4}{A_5} \qquad [2.6\text{-}1]$$

dove:

$A_1 = c'/\cos\alpha$

$A_2 = \gamma\, z\, (\cos\alpha \tan\phi' - \mathrm{sen}\alpha)$

$A_3 = \gamma_w\, z_w \cos\alpha \tan\phi'$

$A_4 = T_{amm.} (\cos\alpha + \mathrm{sen}\alpha \tan\phi')$

$A_5 = \gamma\, z\, (\cos\alpha + \mathrm{sen}\alpha \tan\phi')$

con:

c' = coesione del terreno

α = inclinazione del piano campagna

γ = peso dell'unità di volume del terreno

z = altezza della striscia

ϕ' = angolo di attrito interno del terreno

γ_w = peso dell'unità di volume dell'acqua

z_w = quota del livello della falda a partire dalla potenziale superficie di scivolamento

$T_{amm.}$ = resistenza a trazione ammissibile del rinforzo presente in una striscia di larghezza unitaria

- per superficie di scivolamento a blocco (rottura a cuneo)

$$K_c = \frac{B_1 + B_2 - B_3 + B_4}{B_5} \qquad (2.6\text{-}2)$$

dove:

$B_1 = c' H/\text{sen}\theta$

$B_2 = W(\cos\theta \tan\phi' - \text{sen}\theta)$

$B_3 = U \,\text{sen}\theta$

$B_4 = S_{amm.}(\cos\theta + \text{sen}\theta \tan\phi')$

$B_5 = W(\cos\theta + \text{sen}\theta \tan\phi')$.

con:

H = altezza del cuneo di rottura

θ = inclinazione della superficie di rottura

W = peso proprio del cuneo di rottura

U = pressione esercitata dalla falda sulla superficie di rottura

$S_{amm.}$ = resistenza a trazione ammissibile totale esercitata da tutti i rinforzi sistemati nel pendio

per superficie di scorrimento circolare

$$K_c = \frac{\sum_{i=1}^{n}(C_1 / C_2) + \sum_{i=1}^{m} C_3 - \sum_{i=1}^{n} C_4}{\sum_{i=1}^{n} C_5} \qquad (2.6\text{-}3)$$

dove:

$C_1 = [c' \Delta x_i + (w_i - u_i \cos\theta_i) \tan\phi'] r$

$C_2 = \cos\theta_i (1 + \tan\phi' \tan\theta_i)$

$C_3 = T_{amm.i}\, y_i$

$C_4 = w_{ij}\, r \,\text{sen}\theta_i$

$C_5 = w_i\, y_{Gi}$

con:

n = numero delle strisce in cui è stato suddiviso il pendio

Δx_i = larghezza della striscia i-esima

w_i = peso della striscia i-esima

u_i = pressione neutra agente sulla base della striscia i-esima

θ_i = inclinazione media della base della striscia iesima rispetto all'orizzontale

r = raggio del cerchio critico; m = numero dei rinforzi previsti nel pendio

$T_{amm.i}$ = resistenza a trazione ammissibile del rinforzo i-esimo

y_i = distanza del rinforzo i-esimo rispetto al centro del cerchio critico

y_{Gi} = distanza del centro di massa della striscia i-esima rispetto al centro del cerchio critico

Per il caso del pendio indefinito si ottengono i risultati illustrati nell'abaco di Figura 2.6-1.

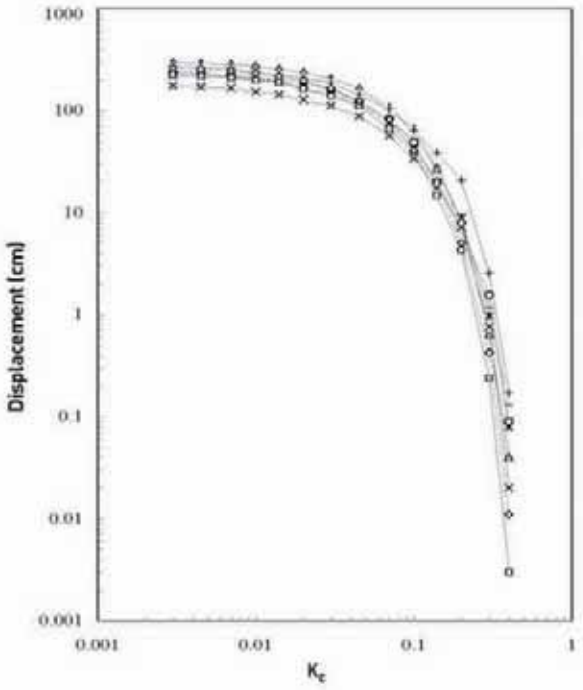


Figura 2.6-1 - Spostamento permanente indotto-coefficiente sismico critico per otto accelerogrammi artificiali spettro compatibili su suolo rigido A, zona sismica 2, per il caso del pendio indefinito. (Cavalera e Brancucci, 1995).

Si ricorda infine l'esistenza di correlazioni empiriche semplificate che consentono il calcolo dello spostamento permanente indotto (sempre inteso come indicatore di pericolo e non come una vera e propria entità fisica) noti: la magnitudo epicentrale, la distanza epicentrale, il coefficiente sismico critico k_c (Romeo, 2000).
L'espressione proposta da Romeo è la seguente:

$$\log_{10} D = -1.281 + 0.648M - 0.934\log_{10}\sqrt{RE^2 + 3.5^2} - 3.699K + 0.225S \pm 0.418 \qquad (2.6\text{-}4)$$

dove:
M = magnitudo epicentrale del terremoto
RE = distanza epicentrale (km)
$K = k_c g / a_{max}$
S = coefficiente di amplificazione dovuto alla litologia affiorante; è compreso tra 0 (roccia o terreno rigido) e 1 (terreno soffice con $V_s < 400$m/s e spessore < 20m)

Per il calcolo di *K* si possono utilizzare formule particolareggiate del tipo precedentemente introdotto (espressioni 2.6-1, 2.6-2, 2.6-3) o espressioni ulteriormente semplificate (Jibson, 1993) del tipo:

$$a_c = (FS - 1)g \cdot \sin\psi_p \qquad (2.6\text{-}5)$$

dove:
FS è il fattore di sicurezza del pendio in condizioni statiche;
g l'accelerazione di gravità;
ψ_p l'angolo di inclinazione della superficie di scorrimento, nell'ipotesi di una traslazione piana.

2.6.1.1 IMPIEGO DEI RISULTATI OTTENUTI CON METODI DINAMICI SEMPLIFICATI

Si precisa nuovamente che gli abachi, tabelle e grafici ottenuti con tali metodi hanno valore solo comparativo e non possono assolutamente considerarsi esportabili alla scala di manufatto, poiché sarebbe rischiosissimo sia sotto il profilo della sicurezza sia sotto il profilo dei costi.

I valori ottenuti degli spostamenti massimi attesi di un pendio, potenzialmente instabile, devono considerarsi esclusivamente come indicatori del livello di danno che la zona considerata può subire in occorrenza di un evento sismico di determinata entità e non come reali spostamenti. Si raccomanda pertanto, ai fini progettuali, di passare a livelli di approfondimento maggiori per quanto riguarda:

- la definizione del cinematismo di rottura;
- la procedura di calcolo delle sollecitazioni indotte dal sisma lungo il pendio, in relazione alla non linearità del legame costitutivo e alle possibili discretizzazioni geometriche adottabili;
- la scelta del modello costitutivo del terreno;
- la previsione degli effetti legati alle variazioni di pressione interstiziale;
- la previsione dell'insorgere di eventuali fenomeni di rottura progressiva.

Per segnalare infine quanto l'argomento sia complesso e dunque poco adatto ad essere rappresentato con abachi o tabelle, se non per stime comparative, si precisa che persino tali metodi più evoluti possono incontrare elevati limiti di attendibilità.

2.6.2 FRANE IN ROCCIA

Per le frane sismoindotte che coinvolgono ammassi rocciosi fratturati si perviene a stime relative alla delimitazione dell'area di accumulo di frana, a sua volta connessa con le massime distanze percorse dai blocchi/diedri di roccia soggetti a crollo. Tale delimitazione areale deriva da relazioni empiriche basate su:

- classificazione di ammasso roccioso in relazione a suscettibilità di frana sismoindotta per crollo;
- parametri quali l'angolo d'ombra minimo ovvero l'angolo di attrito equivalente;
- osservazioni di carattere prevalentemente geomorfologico su forme e depositi legati a precedenti fenomeni di crollo.

2.6.2.1 CLASSIFICAZIONE DI AMMASSO ROCCIOSO IN RELAZIONE A SUSCETTIBILITÀ DI FRANA SISMOINDOTTA PER CROLLO

In relazione alla definizione della suscettibilità di frana sismoindotta per crollo, si raccomanda di fare riferimento all'approccio introdotto da Harp e Noble (1993) e relativo ad aree interessate da fenomeni di crollo/ribaltamento indotti da un terremoto M = 6.0. Sulla base del valore di qualità dell'ammasso roccioso (*Q*), determinato in sito secondo la classificazione di Barton modificata (1998), e a seguito dell'introduzione di una relazione esponenziale della forma $M = Ne^{aQ}$ è possibile determinare indicativamente il numero di crolli/ribaltamenti attesi.

$$\ln M = 1.81 - 0.49\,Q$$

dove:

M numero medio di eventi di crollo/ribaltamento per sito;

Q indice di qualità dell'ammasso roccioso secondo Barton;

È possibile prevedere la probabilità relativa di crolli/ribaltamenti per un terremoto di magnitudo 6 per dif-

ferenti tipi di versanti in roccia con definiti intervalli di *Q*. Dall'applicazione della relazione proposta a casi reali ne deriva la discretizzazione in classi di suscettibilità crescente in funzione del valore di *Q* dell'affioramento di ammasso roccioso considerato (categoria A, con *Q* = 0.1 - 1.41 molto suscettibile, categoria B, con *Q* = 1.42 - 2.83 suscettibile, categoria C, con *Q* = 2.84 - 3.87 moderatamente stabile e categoria D, con *Q* > 3.87). Sulla base delle categorie introdotte, sono di conseguenza delimitate, lungo il versante considerato, aree con valori omogenei di *Q* modificato (cfr. Barton, 1998).

2.6.2.2 PARAMETRI QUALI L'ANGOLO D'OMBRA MINIMO OVVERO L'ANGOLO DI ATTRITO EQUIVALENTE

La valutazione semiquantitativa delle traiettorie attese per i blocchi soggetti a crollo è basata sulla stima dei massimi avanzamenti potenziali, in modo da ottenere una zonazione del territorio per diversi livelli di pericolosità (Varnes, 1984). Tale approccio si basa sul concetto del cosiddetto *cono d'ombra* che consiste nell'individuazione del punto di massimo arrivo, utilizzando valori limite di angoli zenitali (es. 28°) inteso quale angolo, rispetto all'orizzontale, formato dalla congiungente il punto di massimo avanzamento e l'apice del cono detritico (angolo d'ombra minimo).

2.6.2.3 OSSERVAZIONI DI CARATTERE PREVALENTEMENTE GEOMORFOLOGICO SU FORME E DEPOSITI LEGATI A PRECEDENTI FENOMENI DI CROLLO

La validazione dei risultati conseguiti mediante le analisi, di cui ai primi due punti del paragrafo 2.6.2, deriverà da un confronto con le evidenze geologico-tecniche e geomorfolgiche relative alla presenza di depositi detritici di versante che attestino, inoltre, lo stato di attività dei fenomeni di frana eventualmente riconosciuti.

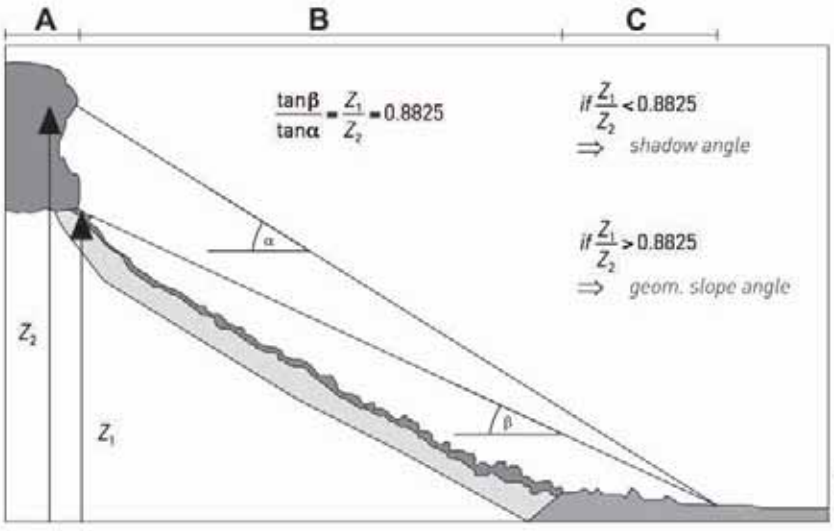


Figura 2.6-2 – Parametri del terreno per l'applicazione del metodo di Onofri e Candian (1979).

Un altro metodo consiste (Onofri e Candian, 1979) nell'utilizzo dell'angolo di attrito equivalente o angolo di inclinazione del versante (ϕ_p), calcolato partendo dal punto più alto della zona di distacco, congiungendolo con il masso che ha raggiunto la massima distanza di espandimento, che in genere fornisce valori compresi tra 28.34° e 40.73°. L'elaborazione statistica dei dati ha indicato una distribuzione gaussiana delle frequenze percentuali

cumulate di Φ_p ed ha individuato in $\phi_p = 27.15°$ il limite inferiore per un livello di confidenza $P = 0.99$.
La scelta tra i due metodi può essere effettuata in modo teorico utilizzando la relazione riportata in Figura 2.6-2 e che può essere così sintetizzata:

- se il rapporto $Z_1/Z_2 < 0.8825$ si utilizza l'angolo d'ombra minimo;
- se tale rapporto è maggiore di 0.8825, si utilizza l'angolo di inclinazione del versante.

Per crolli in massa (volumetrie tra 1000 e alcune centinaia di migliaia di metri cubi) esistono alcuni metodi empirici che consentono di calcolare la distanza massima raggiungibile dalla frana sulla stima, in prima approssimazione, dei volumi potenzialmente instabili. Andrà utilizzato il metodo empirico più adatto alle volumetrie ipotizzate e alle caratteristiche litologiche del sito. La larghezza e la forma dell'accumulo di frana vanno delimitate tenendo conto della morfologia del pendio e dell'area di possibile espansione. I metodi sopra citati sono validi soprattutto per volumetrie elevate.

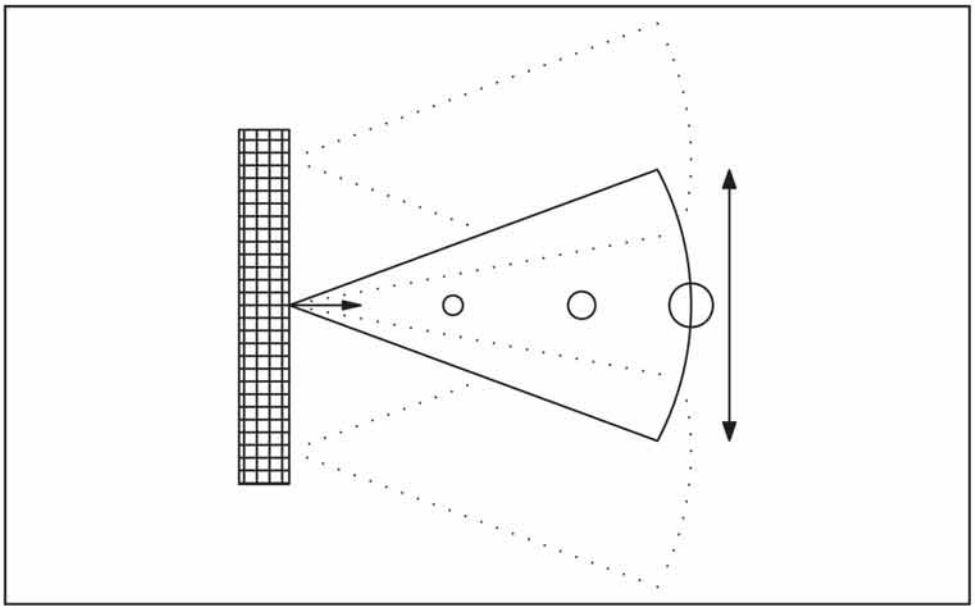


Figura 2.6 3 – Vista in pianta del cono d'ombra che contiene la traiettoria di caduta più probabili.

La metodologia proposta di seguito è del tutto indicativa e necessita di approfondimenti per ogni caso specifico.
Scheidegger (1973) fornisce la formula:

$\log f = a * \log V + b$

dove:

$f = H/x$

x = distanza massima raggiungibile dalla frana in metri

H = dislivello in metri

V = volume presunto della massa coinvolta

$a = -0.15666$

$b = 0.62419$

Davies (1982) propone invece un legame tra il volume (*V*) e la distanza raggiunta (R_a), secondo la formula:

$R_a = 9.98*V*0.33$

Tianchi (1983) mette in relazione il volume (V) della frana con la distanza raggiunta (L), secondo la formula:

$\log (H/L) = A + B \log V$

dove:

H = dislivello in metri

A = 0.6640

B = –0.1529

Nelle Appendici è riportata una scheda tecnica di approfondimento (scheda tecnica 3.1.2).

2.6.3 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Ambraseys, N.N. e Menu, J. (1988) - Earthquake-induced ground displacements. *Earthquake Engineering And Structural Dynamics*, vol. 16.

Barton, N. (1998) - Quantitative description of rock masses for the design of NMT reinforcement. *International Conference on Hydropower Development in Hymalayas.* Ed. V.D. Choubey. April 20-22, 1998, Shimla.

Cavalera, L. e Brancucci, A. (1995)- Comportamento dei pendii rinforzati in zona sismica. *Atti del 7° Convegno Nazionale di Ingegneria Sismica*, Siena.

Crespellani, T. (1995) - Previsione del comportamento sismico e post-sismico dei pendii naturali. *Atti del 7° Convegno Nazionale L'ingegneria Sismica in Italia,* Siena, vol. I , 93-102.

Davies, T.R.H. (1982) - Spreading of rock avalanche debris by mechanical fluidization. *Rock Mechanics*, 15, 9-24.

Harp, E.L. e Noble, M.A. (1993) - An Engineering rock classification to evaluate seismic rock-fall susceptibility and its application to the Wasatch Front. *Bull Ass. Engng Geologists*, vol. 30, 293-319.

Jibson, N. (1993) -Predicting Earthquake induced landslides displacements using Newmark's sliding block analysis. *Transportation Research Record* vol. 1441, TRB, National Research council, Washington D.C. pp. 9-17.

Li Tianchi (1983) - A mathematical model for predicting the extent of a major rockfall. Z. Geomorph., 27, 473-482.

Newmark, N.M. (1965) - Effects of Earthquakes on Dams and Embankments. *Journal of Geothecnical Division, ASCE,* vol. 105.

Okabe, S. (1924) - General Theory on Earth Pressure and Seismic Stability of Retaining Wall and Dam. *Journal Japan Society of Civil Engineering,* 10(6), 1277-1323.

Onofri, R. e Candian, C. (1979) - *Indagine sui limiti di massima invasione dei blocchi rocciosi franati durante il sisma del Friuli del 1976. Considerazioni sulle opere di difesa.* Reg. Aut. friuli Venezia Giulia, Cluet, Trieste, 1-42.

Romeo, R. (2000) -Seismically induced landslide displacements: a predictive model. *Engineering Geology*, vol.58, N.3.

Scheidegger, A.E. (1973) - On the prediction of the reach and velocity of catastrophic landslides. *Rock Mechanics*, 5, 231-236.

Simonelli, A.L. e Fortunato, E. (1996) – *Effects of earth slope characteristics on displacement based seismic design.* Proceed. XI World Conference on Earthquake Engineering, Acapulco, Mexico.

Varnes, D.J. (1984) - *Hazard Zonation: A Review of Principal and Practice.* Commission of Landslide of IAEG, UNESCO, Natural Hazades, N. 3, 61 p.

2.7 Procedura per la valutazione della possibilità di occorrenza di fenomeni di liquefazione (livello 2)

2.7.1 VALUTAZIONE DELLA POSSIBILITÀ DI OCCORRENZA DI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE

Il pericolo liquefazione deve essere accertato in base alla possibilità di concomitanza di fattori scatenanti (caratteristiche dei terremoti attesi) e predisponenti (suscettibilità dei terreni).

La suscettibilità del terreno deve essere valutata sulla base di prove in sito (SPT e/o CPT e/o prove geofisiche in foro del tipo DH, CH e/o SCPT), esplorando un numero di verticali adeguato all'importanza dell'opera e all'estensione dell'area di indagine e sufficiente ad accertare la variabilità spaziale delle caratteristiche stratigrafiche e geotecniche del deposito. Dovrà anche essere determinata con appropriate rilevazioni l'entità delle fluttuazioni dei livelli di falda e nelle analisi dovrà considerarsi la condizione meno cautelativa.

Nelle verticali esplorate la stima del potenziale di liquefazione dovrà essere effettuata con i "metodi semplificati" di seguito specificati, e a tal fine in ogni verticale dovrà essere valutato il picco di accelerazione $a_{max\,s}$ alla superficie del deposito mediante analisi della risposta sismica locale. L'analisi della risposta sismica locale può essere omessa se nell'area sono stati già eseguiti studi di microzonazione di livello 2 che forniscano nel sito i valori di $a_{max\,s}$.

Per l'analisi della risposta sismica locale dovranno essere eseguite prove in sito per la misura di V_s e prove dinamiche di laboratorio (prove di colonna risonante e/o di taglio torsionale ciclico) per la determinazione delle leggi di variazione del modulo di taglio G e del rapporto di smorzamento D, con l'ampiezza della deformazione di taglio γ. Se si adoperano codici di calcolo che eseguono l'analisi della risposta sismica locale in termini di tensioni efficaci, su alcuni campioni rappresentativi (che dovranno essere indisturbati e di ottima qualità), dovranno essere effettuate prove cicliche di resistenza alla liquefazione, mirate a conseguire i parametri necessari per la loro applicazione.

I risultati dello studio devono essere presentati riportando l'andamento con la profondità del fattore di sicurezza nei confronti della liquefazione in ciascuna delle verticali esplorate. Per ogni verticale dovrà anche essere valutato l'indice del potenziale di liquefazione I_L di seguito definito.

Se è:

- $0 < I_L \leq 5$ il pericolo di liquefazione è basso
- $5 < I_L \leq 15$ il pericolo di liquefazione è elevato
- $I_L > 15$ il pericolo di liquefazione è estremamente elevato

2.7.1.1 CASI IN CUI SI PUÒ ESCLUDERE CHE SI VERIFICHINO FENOMENI DI LIQUEFAZIONE

La probabilità che nei terreni sabbiosi saturi si verifichino fenomeni di liquefazione è bassa o nulla se si verifica almeno una delle seguenti condizioni[44]:

1. Eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5 (capitolo 2.8);

44 Vedi anche Linee guida AGI, 2005.

2. Accelerazione massima attesa in superficie in condizioni free-field minore di 0.1g;
3. Accelerazione massima attesa in superficie in condizioni *free-field* minore di 0.15g e terreni con caratteristiche ricadenti in una delle tre seguenti categorie:
   - frazione di fine[45], FC, superiore al 20%, con indice di plasticità $PI > 10$;
   - $FC \geq 35\%$ e resistenza $(N_1)_{60} > 20$;
   - $FC \leq 5\%$ e resistenza $(N_1)_{60} > 25$

   dove $(N_1)_{60}$ è il valore normalizzato della resistenza penetrometrica della prova SPT, definito dalla relazione: $(N_1)_{60} = N_{SPT} C_N$, in cui il coefficiente C_N è ricavabile dall'espressione $C_N = \left(\frac{p_a}{\sigma'_v}\right)^{0.5}$ essendo p_a la pressione atmosferica e σ'_v la tensione efficace verticale.
4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 2.7-1 (a) nel caso di materiale con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ ed in Figura 2.7-1 (b) per coefficienti di uniformità $U_c > 3.5$.
5. Profondità media stagionale della falda superiore ai 15 m dal piano campagna[46].

2.7.1.2 METODI PER LA STIMA DEI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE

Per verificare la possibilità di occorrenza di fenomeni di liquefazione vanno impiegate le procedure che nell'Ingegneria geotecnica sismica vengono denominate 'metodi semplificati'. Tali metodi sono basati su prove geotecniche di tipo corrente e sulla valutazione, ad ogni quota z del deposito compresa nei primi 20 m, del fattore di sicurezza

$$F_L = \frac{CRR}{CSR} \cdot MSF$$ dove:

$$CRR = \frac{\tau_{slit}}{\sigma'_{v0}}$$

è la resistenza normalizzata (rispetto alla tensione efficace verticale iniziale σ'_{v0}) che può essere valutata attraverso abachi, quali quelli indicati nella Figura 2.7-2, in funzione di parametri desunti da prove SPT, CPT e da misure della velocità delle onde di taglio V_s[47];

$$CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 \frac{a_{max\,s}}{g} \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} r_d$$ è la tensione indotta dal terremoto

dove:

$a_{max\,s}$ è il picco di accelerazione al piano campagna del terremoto di riferimento

g è l'accelerazione di gravità;

σ_v e σ'_v sono rispettivamente la tensione totale verticale e la tensione efficace verticale alla profondità considerata;

r_d è un coefficiente riduttivo dell'azione sismica che porta in conto la deformabilità del sottosuolo e

45 La frazione di fine è definita come la frazione passante al setaccio 200 ASTM (0.074 mm).

46 L'indicatore è valido solo nel caso di piano campagna orizzontale, in presenza di edifici con fondazioni superficiali. Nel caso di pendii e/o in presenza di fondazioni profonde, le analisi di liquefazione devono essere estese a profondità maggiori.

47 Vedi Linee guida AGI, 2005, Appendice E.

che può essere determinato con la relazione semplificata $r_d = 1-0.015z$;

MSF è un fattore di scala che può essere valutato mediante la Tabella 2.7-1 in funzione della magnitudo dei terremoti attesi[48].

Tra i metodi semplificati, quelli basati su prove CPT sono particolarmente raccomandati. Se il fattore è $F_L > 1.25$ la liquefazione è da escludere; se è $F_L < 1.25$ è possibile che avvengano fenomeni di liquefazione. È da osservare che anche quando $F_L > 1$ si possono avere, dopo il terremoto, cedimenti permanenti del terreno.

2.7.1.3 DEFINIZIONE E CALCOLO DELL'INDICE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

L'indice del potenziale di liquefazione, I_L, è definito dalla seguente relazione:

$$I_L = \int_0^{20} F(z)w(z)dz$$

dove:

z è la profondità dal piano campagna in metri

$w(z) = 10 - 0.5z$ è una funzione che pesa il contributo del fattore F con la profondità.

Ad una data quota z il fattore $F(z) = F$ vale:

$$F = 1 - F_L \text{ se } F_L \leq 1.0$$

$$F = 0 \text{ se } F_L > 1.0$$

dove:

F_L è il fattore di sicurezza alla liquefazione alla quota considerata.

2.7.2 STIMA DEI CEDIMENTI PERMANENTI NEI TERRENI GRANULARI SATURI LIQUEFACIBILI

In prima approssimazione il cedimento permanente post-sismico ΔH dei terreni liquefacibili ($F_L \leq 1$) può essere stimato con l'espressione:

$\Delta H = \varepsilon_v H$ dove H è l'altezza dello strato liquefacibile ed ε_v (%) è la deformazione volumetrica

$$\varepsilon_v = \frac{\alpha C_r}{1+e_0} \log\left(\frac{1}{1-\frac{\Delta u}{\sigma'_0}}\right)$$

in cui α è una costante sperimentale che in prima approssimazione può essere posta uguale a 1;

e_0 è l'indice dei vuoti iniziale;

C_r è l'indice di riconsolidazione postciclica

$\frac{\Delta u}{\sigma'_0}$ è il rapporto di pressione interstiziale[49].

48 Il valore di magnitudo (M), come per l'accelerazione al bedrock (a_{max}), dipende dalla probabilità di eccedenza nel periodo di osservazione (T).

49 Nelle Linee guida AGI (2005), per i terreni granulari si propone per la valutazione dell'incremento di pressione interstiziale generato dalla sollecitazione sismica la seguente relazione empirica:

$$\frac{\Delta u_N}{\sigma'_0} = \frac{2}{\pi} \cdot \sin^{-1}\left[\left(\frac{N}{N_L}\right)^{1/2\alpha}\right]$$

In prima approssimazione:

- l'indice di riconsolidazione postciclica C_r può essere posto pari a $C_r = 0.225\ C_c$ (dove C_c è l'indice di compressione ottenuto in prove edometriche);
- il rapporto di pressione interstiziale $\frac{\Delta u}{\sigma'_0}$ può essere valutato con il grafico di Figura 2.7-3 o con la Tabella 2.7-2, in funzione della ampiezza della deformazione di taglio massima γmax indotta dal terremoto;
- l'ampiezza della deformazione di taglio massima γ_{max} può essere valutata con l'espressione

$$\gamma_{max} = 0.65 \frac{a_{max\,s}}{g} \sigma_v r_d \frac{1}{G}$$

dove:

$a_{max\,s}$ è il picco di accelerazione al piano campagna del terremoto di riferimento; g è l'accelerazione di gravità; σ_v è la tensione totale verticale; r_d è un coefficiente riduttivo dell'azione sismica che mette in conto la deformabilità del sottosuolo e che può essere determinato con la relazione semplificata $r_d = 1\text{-}0.015z$; G è il modulo di taglio corrispondente al livello deformativo γ_{max}, che può essere determinato o utilizzando le leggi di variazione $G(\gamma)$ ottenute con prove dinamiche in laboratorio o mediante la Tabella 2.7-3 applicando un fattore riduttivo al modulo di taglio G_0.

Nel caso in cui sia $F_L > 1$ la quantità $\frac{\Delta u}{\sigma'_0}$ può essere ricavata con la relazione: $\frac{\Delta u}{\sigma'_0} = F_L^{-1}$.
I risultati devono essere riportati in una carta dove, oltre alla perimetrazione dell'area indagata, devono essere indicati la localizzazione delle verticali esplorate e il valore del cedimento cumulato.
Nel caso in cui al di sopra della falda vi siano terreni granulari non saturi e/o terreni coesivi molli, nella carta in corrispondenza di ogni verticale, dovrà essere riportato il valore del cedimento totale relativo agli strati non saturi e/o coesivi e agli strati liquefacibili sotto falda.

2.7.3 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

AGI Associazione Geotecnica Italiana (2005) – *Linea guida. Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica.* Patron Editore, Bologna.

Seed, H.B. e Idriss, I.M. (1982) - *Ground Motion and Soil Liquefaction During Earthquakes.* Earthquake Engineering Research Institute.

---

dove Δu_N è l'incremento di pressione interstiziale dopo N cicli di carico, σ'_0 il valore iniziale della pressione media efficace alla profondità considerata, N è il numero di cicli di carico di ampiezza costante equivalente al sisma ed N_L è il numero di cicli di carico necessari per produrre la liquefazione nel terreno. La costante sperimentale a può essere valutata mediante la seguente relazione proposta in funzione della densità relativa, D_r (in frazione):

$$a = 0.96 \cdot D_r^{0.83} \cdot \varepsilon_0$$

Il termine ε_0 ha distribuzione log-normale con valore medio unitario e varianza pari a 0.12.
Si fa presente che il numero dei cicli di carico N può essere stimato in funzione della magnitudo del terremoto mediante la tabella di seguito riportata, mentre il numero di cicli che portano a liquefazione il terreno N_L deve essere determinato in laboratorio con prove triassiali cicliche o di taglio semplice ciclico.

M	N
5.0	3.8
5.5	4.0
6.0	4.5
6.5	7.0
7.0	10.0

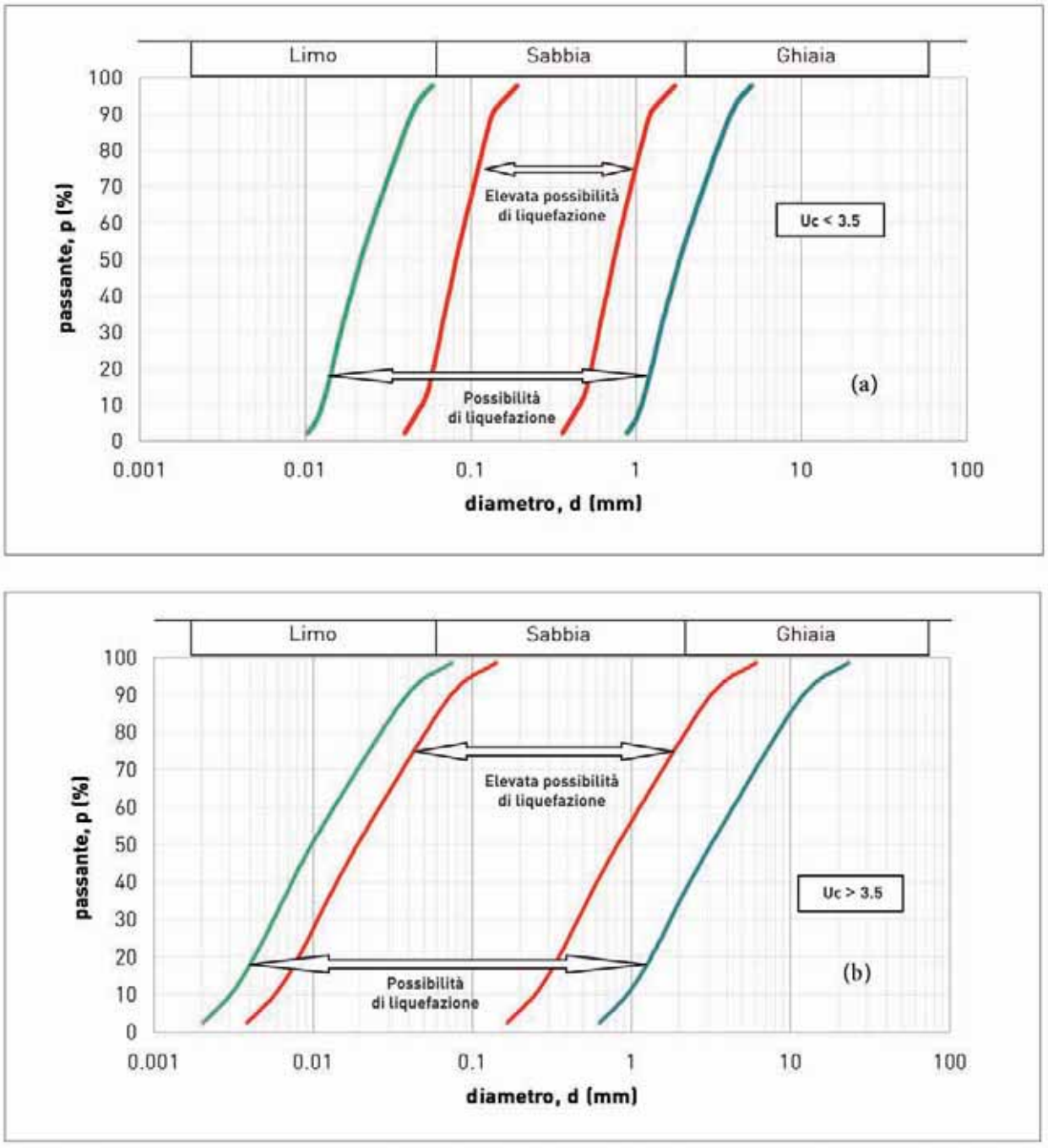
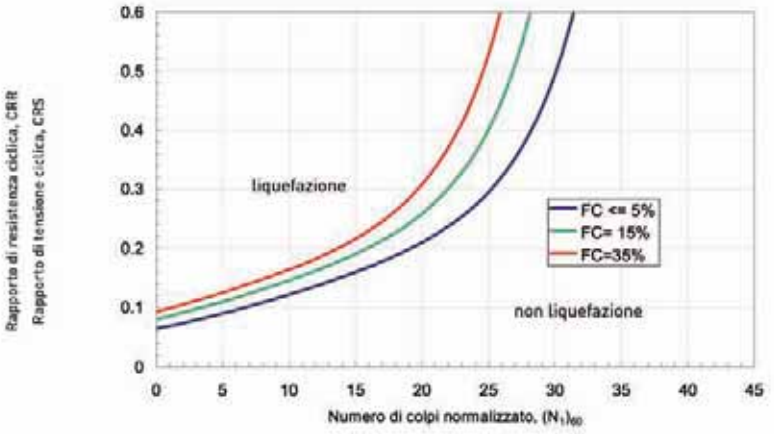


Figura 2.7-1- Fasce granulometriche per la valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione di un terreno per i terreni a granulometria uniforme (a) ed estesa (b) (da AGI, 2005).



$$(N_1)_{60} = N_{SPT} C_N C_E C_B C_R C_S$$

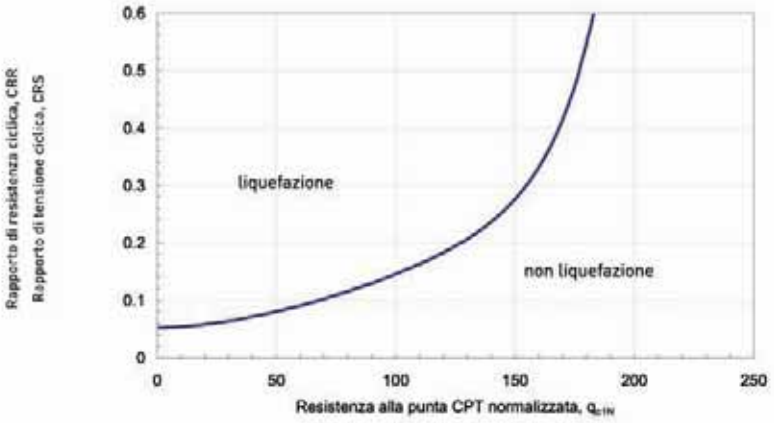
dove:

$$C_N = \left(\frac{p_a}{\sigma'_v}\right)^{0.784 - 0.0768\sqrt{(N_1)_{60}}}$$

C_N non deve superare il valore di 1,7

p_a (pressione atmosferica = 100 kPa) e σ'_v sono espresse nelle stesse unità di misura

$C_E C_B C_R C_S = 1$

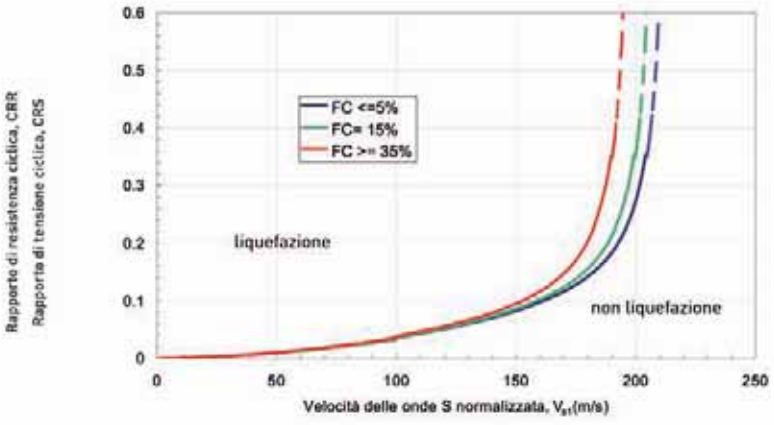


$$q_{c1N} = C_Q \frac{q_c}{p_a}$$

dove:

p_a (pressione atmosferica di riferimento = 100 kPa) e σ'v sono espresse nelle stesse unità di misura

$$C_Q = \left(\frac{p_a}{\sigma'_v}\right)^{1.338 - 0.249(q_{c1N})^{0.264}}$$



$$v_{s1} = C_v v_s$$

dove:

p_a (pressione atmosferica di riferimento = 100 kPa) e σ'_v sono espresse nelle stesse unità di misura

$$C_v = \left(\frac{p_a}{\sigma'_v}\right)^{0.25}$$

Figura 2.7-2 - Carte per la stima della resistenza normalizzata alla liquefazione *CRR* di un terreno sabbioso saturo in funzione della percentuale di fino FC e sulla base dei valori di N_{60}, q_c e V_s corretti.

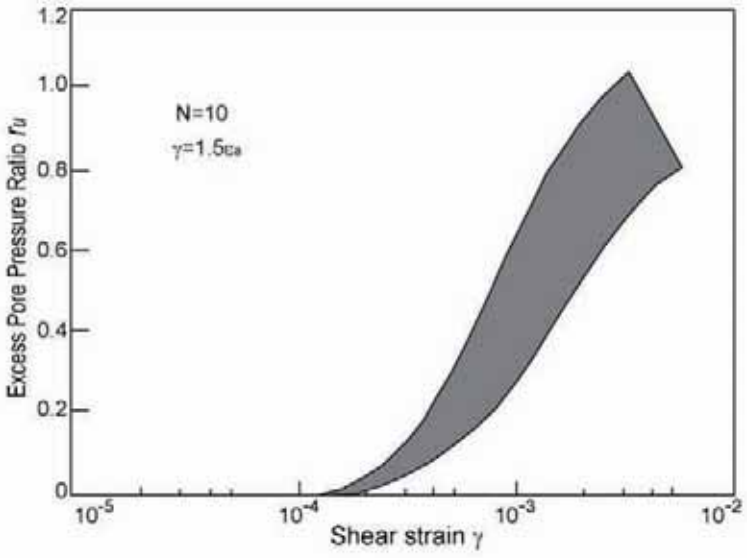


Figura 2.7-3 –Valore del rapporto di pressione interstiziale r_u in funzione della deformazione di taglio massima indotta dal terremoto

$$\gamma_{max} = 0.65 \frac{a_{max}}{g} \sigma_v r_d \frac{1}{G}$$

da Seed e Idriss, 1982.

Tabella 2.7-1 - Fattore di correzione MSF (Seed e Idriss, 1982)

Magnitudo	MSF
5.5	1.43
6.0	1.32
6.5	1.19

Tabella 2.7-2 – Rapporto di pressione interstiziale $r_u = \frac{\Delta u}{\sigma'_0}$ in funzione di γ_{max}

γ_{max} [%]	r_u
5×10^{-1}	0.2
1×10^{0}	0.4
2×10^{0}	0.6
4×10^{0}	0.8
5×10^{0}	0.95

Tabella 2.7-3 – Fattore di riduzione del modulo di taglio *G* nei primi 20 m in funzione dell'accelerazione a_{max}

a_{max} [g]	G/G_0
0.10	0.80
0.20	0.60
0.30	0.35
0.40	0.28

2.8 Procedura di stima della magnitudo attesa, per le analisi nelle zone suscettibili di instabilità

2.8.1 PREMESSA

Nelle verifiche di liquefazione (capitolo 2.7) ed in quelle di stabilità dei versanti (capitolo 2.6) si deve tener conto della magnitudo attesa. Nelle verifiche di liquefazione il valore di M determina:

- se sia possibile non effettuare la verifica (insieme ad altre condizioni);
- il valore del coefficiente *MSF* (Magnitude Scale Factor) che corregge il valore del rapporto fra *CRR* e *CSR* per determinare il valore attuale del fattore di sicurezza.

Nelle verifiche di stabilità dei versanti il valore di M e della distanza epicentrale (*R*) sono utilizzati in correlazioni empiriche, che definiscono il coefficiente sismico critico per pendii in terreno o il numero medio di crolli per sito per frane in roccia.

La ragione per la quale la magnitudo entra in gioco è che, tanto più è elevata, tanto maggiore è l'energia rilasciata e, quindi, la capacità di generare cicli di deformazione del terreno di numero ed ampiezza tali da produrre sovrapressioni neutre e fenomeni di liquefazione. Per le stesse ragioni, eventi di M elevata possono produrre impulsi in grado di conferire elevate energie cinetiche a parti di terreno o di rocce e quindi fenomeni di instabilità.

2.8.2 VALUTAZIONE DELLA MAGNITUDO

La magnitudo è una grandezza molto importante per la definizione della pericolosità sismica e quindi dell'azione sismica. È una grandezza che ha carattere aleatorio e come tale viene trattata negli studi di pericolosità. Analogo carattere dovrebbe quindi conservare quando utilizzata per la definizione a fini di progettazione o di studio di MS.

Un metodo semplice e in favore di sicurezza che può essere utilizzato per stimare quale sia il valore di magnitudo da considerare ai fini delle valutazioni, preferibilmente per le verifiche di liquefazione, per il sito o la microzona di interesse, è il seguente:

1. Si considera sempre la zonazione sismogenetica (ZS9) (Figura 2.8-1), secondo la quale la sismicità può essere distribuita in 36 zone, a ciascuna delle quali è associata una magnitudo massima M_{wmax} [50]
2. Per i siti che cadono in una delle 36 zone sismogentetiche predette si assume come M il valore di M_{wmax} (Tabella 2.8-1).
3. Ai fini della verifica a liquefazione e per i siti che non ricadono in alcuna zona sismogenetica si determinano le minime distanze (R_i) dalle zone (i) circostanti e si controlla per ciascuna di esse se la magnitudo M_i della zona è inferiore alla magnitudo fornita dalla relazione $M_i = 1+3\log(R_i)$. Se ciò accade, la verifica a liquefazione non è necessaria. Se invece è necessaria, si assume il valore di magnitudo M_i più alto fra quelli per i quali la verifica è necessaria.
4. Ai fini della verifica di stabilità dei versanti, qualora si utilizzi la relazione semiempirica di Romeo (2000) si utilizzano i valori più gravosi derivanti dall'applicazione di tutte le coppie M_i, R_i deducibili dalle zone sismogenetiche vicine al sito di interesse.

50 I dati forniti sono in termini di magnitudo momento M_w. Essi possono essere espressi anche in termini di altre scale di magnitudo utilizzando le correlazioni riportate in Gruppo di lavoro (2004). In particolare ciò va fatto per la verifica della distanza alla quale si può ritenere non presente il rischio di liquefazione, che è data in termini di M_s.

Tabella 2.8-1 – Valori di M_{wmax} per le zone sismogenetiche di ZS9 (estratto da Gruppo di lavoro, 2004)

Nome ZS	Numero ZS	M_{wmax}
Colli Albani, Etna	922, 936	5.45
Ischia-Vesuvio	928	5.91
Altre zone	901, 902, 903, 904, 907, 908, 909, 911, 912, 913, 914, 916, 917, 920, 921, 926, 932, 933, 934	6.14
Medio-Marchigiana/Abruzzese, Appennino Umbro, Nizza Sanremo	918, 919, 910	6.37
Friuli-Veneto Orientale, Garda-Veronese, Garfagnana-Mugello, Calabria Jonica	905, 906, 915, 930	6.60
Molise-Gargano, Ofanto, Canale d'Otranto	924, 925, 931	6.83
Appennino Abruzzese, Sannio – Irpinia-Basilicata	923, 927	7.06
Calabria tirrenica, Iblei	929, 935	7.29

Il secondo metodo che si propone ha l'obiettivo di consentire in qualunque sito la stima di una coppia di riferimento magnitudo – distanza (nel seguito M-R), da assumere preferibilmente per le valutazioni delle instabilità di versante.

Vengono utilizzati i risultati degli studi di pericolosità di base effettuati nell'ambito della definizione della mappa di riferimento nazionale da parte dell'Istituto nazionale di geofisica e vulcanologia (Gruppo di lavoro, 2004), per pervenire alla determinazione di coppie di valori (M-R) caratteristici di ogni sito[51].

L'informazione di partenza è costituita dalla zonazione sismogenetica (ZS9) del territorio nazionale secondo la quale la sismicità può essere distribuita in 36 zone (Figura 2.8-1), a ciascuna delle quali è associata una legge di ricorrenza della magnitudo[52].

Fra i risultati forniti dallo studio condotto da INGV (Spallarossa e Barani, 2007) c'è anche la disaggregazione (o deaggregazione) della pericolosità sismica (Bazzurro e Cornell, 1999): un'operazione che consente di valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito. La forma più comune di disaggregazione è quella bidimensionale in magnitudo e distanza (M-R) che permette di definire il contributo di sorgenti sismogenetiche a distanza R capaci di generare terremoti di magnitudo M. Poiché le mappe di pericolosità sismica sono state elaborate in termini di mediana della distribuzione dei valori di pericolosità ottenuti con diversi alberi logici, la disaggregazione è stata condotta adottando quali input i modelli ed i valori dei parametri lungo un solo ramo dell'albero logico, al quale corrispondono i valori di pericolosità più prossimi a quelli mediani. Il risultato è fornito per 9 periodi di ritorno (RP): 30, 50, 72, 100, 140, 200, 475, 1000 e 2500 anni.

È possibile ottenere i valori medi $\overline{M}-\overline{R}$ e modali (M^*-R^*)[53] a seguito della disaggregazione dei valori di accelerazione orizzontale di picco su suolo rigido (a_g) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni (Spallarossa e Barani, 2007), o con altre probabilità di superamento in funzione degli altri scopi della valu-

51 Tali studi hanno fornito valori dei parametri di pericolosità per punti sul territorio distribuiti secondo una griglia regolare in termini di coordinate geografiche.

52 I dati forniti sono in termini di magnitudo momento M_w. Essi possono essere espressi anche in termini di altre scale di magnitudo utilizzando le correlazioni riportate dal Gruppo di lavoro (2004).

53 Il valore medio si ottiene come media pesata delle magnitudo, dove il peso di ciascuna è dato dal contributo che la stessa fornisce alla pericolosità. Il valore modale M^* è il valore di M che fornisce il maggior contributo alla pericolosità.

tazione. Nella tabella Comuni_MR (nel Dvd allegato) sono stati riportati valori medi e modali per ciascun comune, attribuendo i valori massimi dei punti della griglia che ricadono all'interno del territorio comunale, oppure i valori del punto della griglia più vicino al confine comunale. Una rappresentazione di tali valori è riportata in Figura 2.8-2, Figura 2.8-3, Figura 2.8-4, Figura 2.8-5 e Figura 2.8-6.

I risultati riportati in mappa possono essere utilizzati per verificare le condizioni di stabilità di versante o di liquefazione per opere alle quali è associato un periodo di riferimento (RP) non superiore a quello per il quale la mappa è stata dedotta.

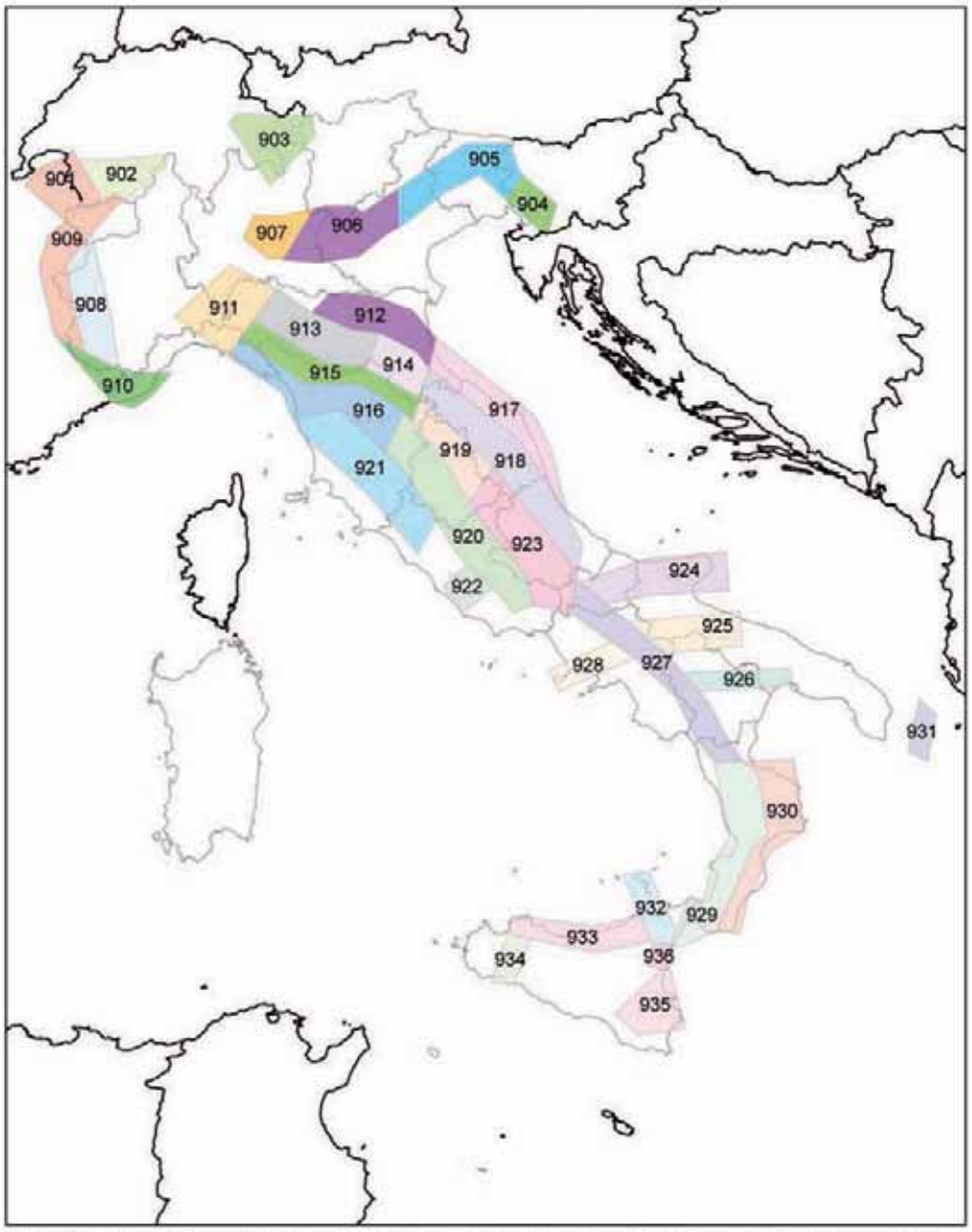


Figura 2.8-1 - Zone sismogenetiche per la mappa di pericolosità sismica di base di riferimento (Gruppo di lavoro, 2004).

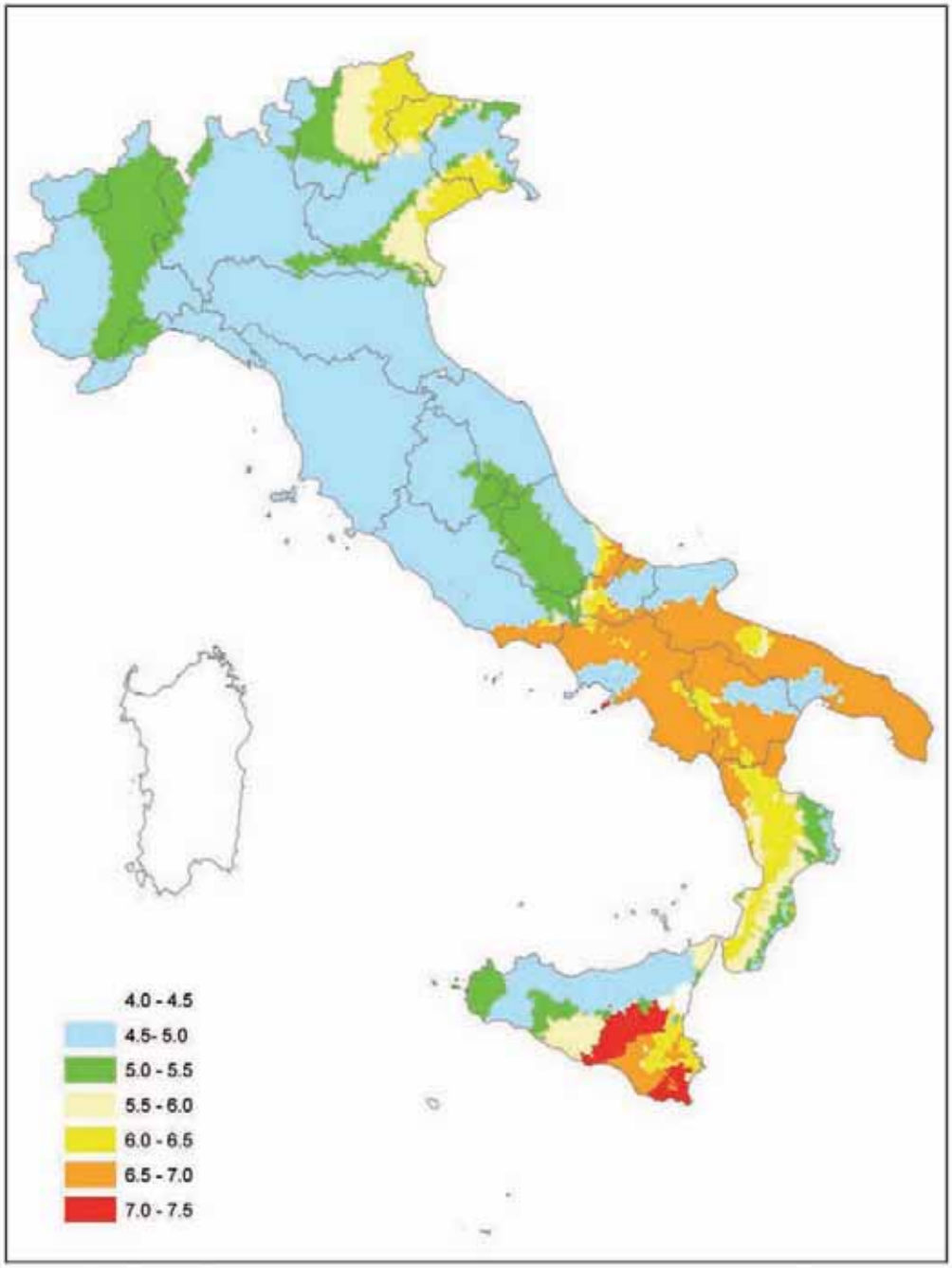


Figura 2.8-2 - Valori modali di M per comune, ottenuti a seguito della disaggregazione della pericolosità con periodi di ritorno di 475 anni (elaborazione su dati da Spallarossa e Barani, 2007.

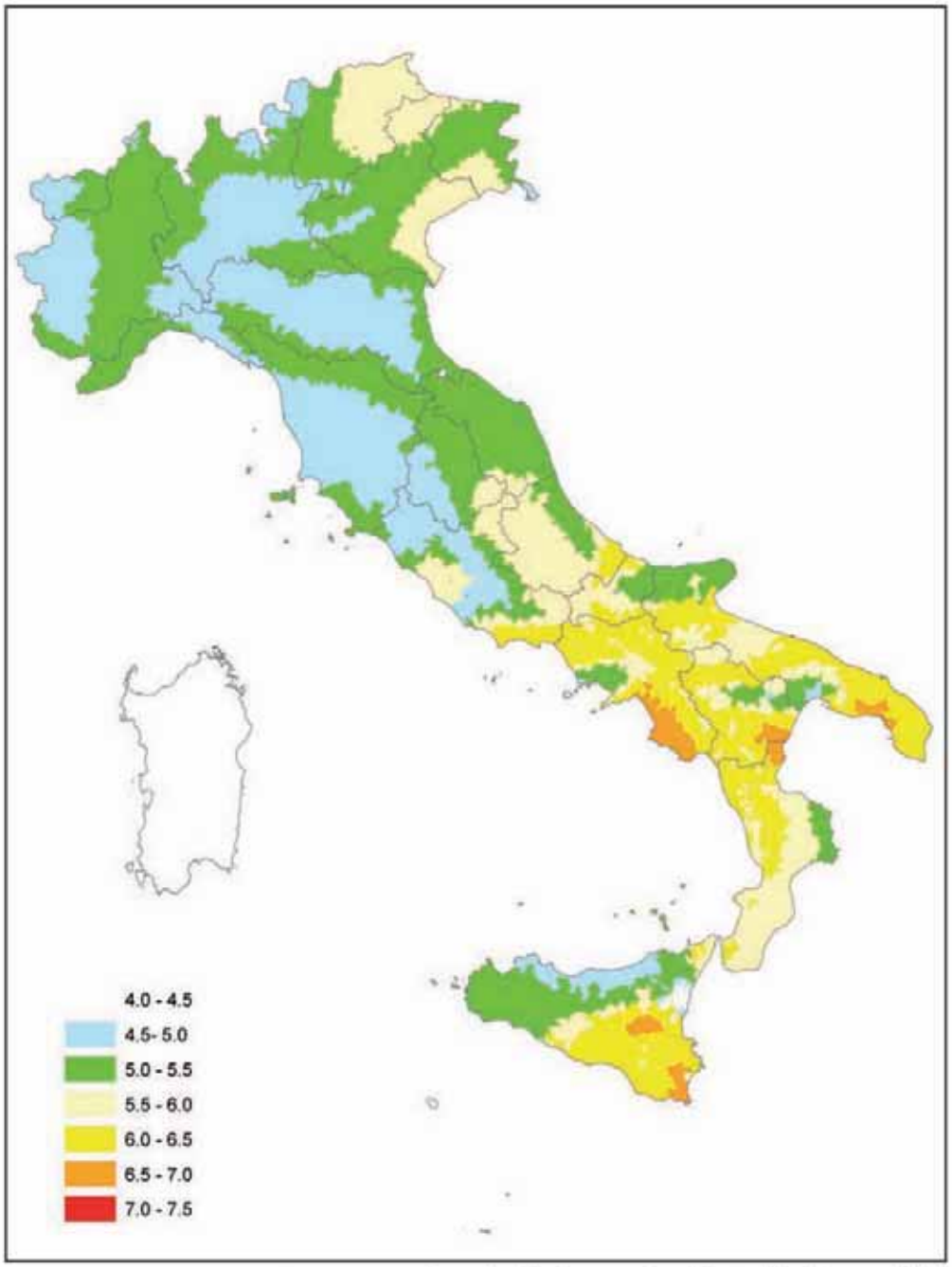


Figura 2.8-3 - Valori medi di M per comune, ottenuti a seguito della disaggregazione della pericolosità con periodi di ritorno di 475 anni (elaborazione su dati da Spallarossa e Barani, 2007).

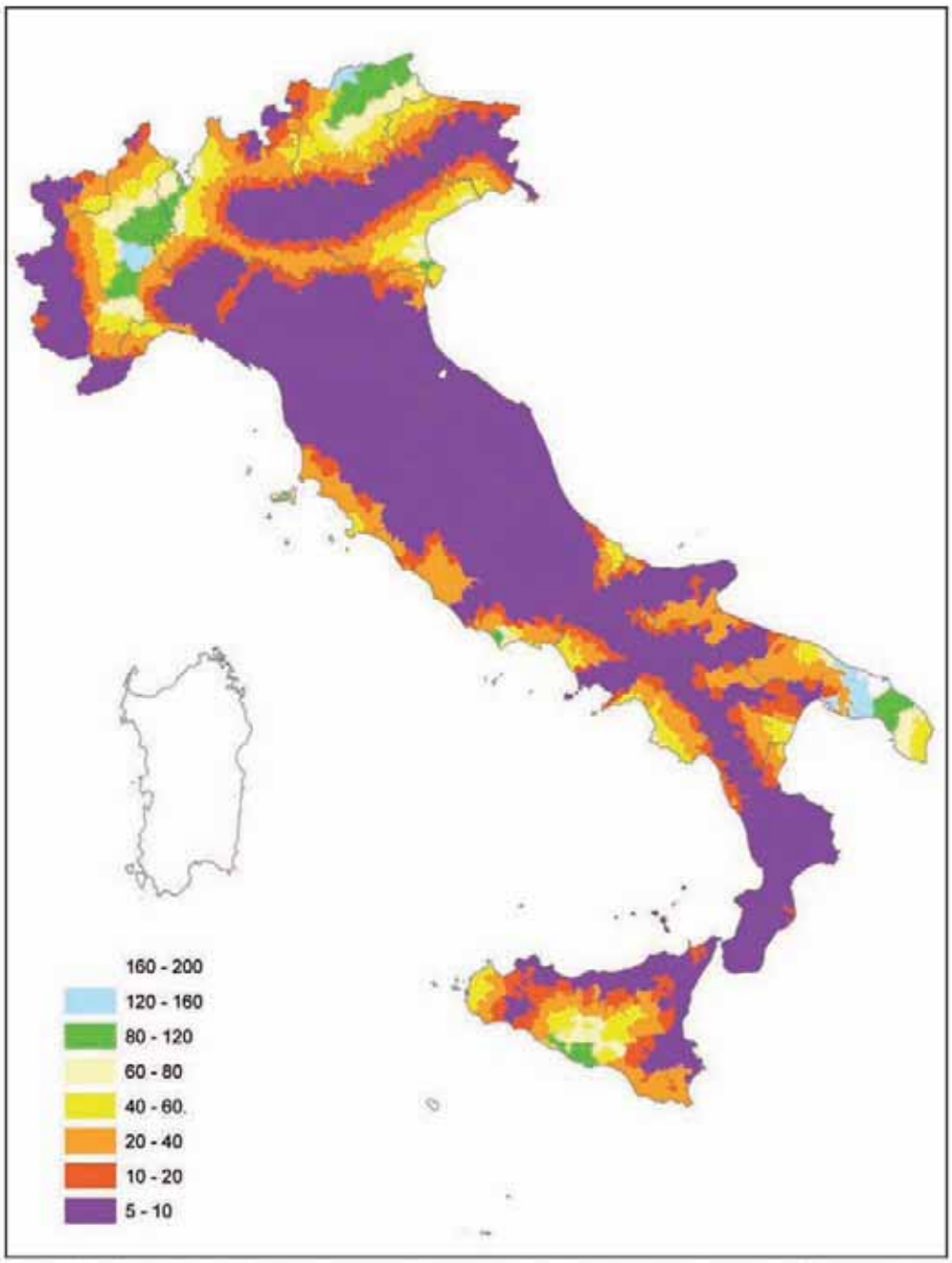


Figura 2.8-4 - Valori modali di *R* per comune, ottenuti a seguito della disaggregazione della pericolosità con periodi di ritorno di 475 anni (elaborazione su dati da Spallarossa e Barani, 2007).

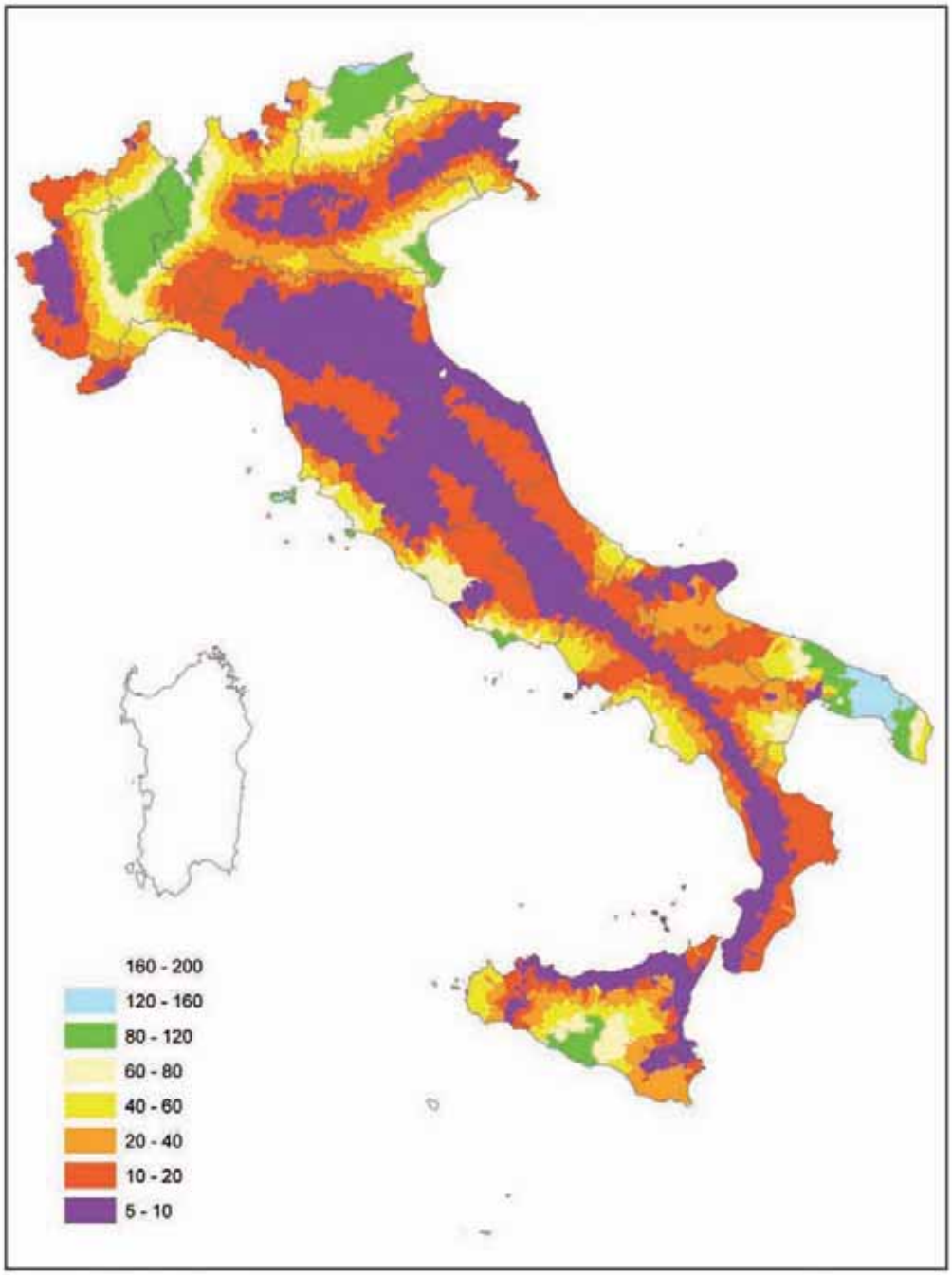


Figura 2.8-5 - Valori medi di *R* per comune, ottenuti a seguito della disaggregazione della pericolosità con periodi di ritorno di 475 anni (elaborazione su dati da Spallarossa e Barani, 2007).

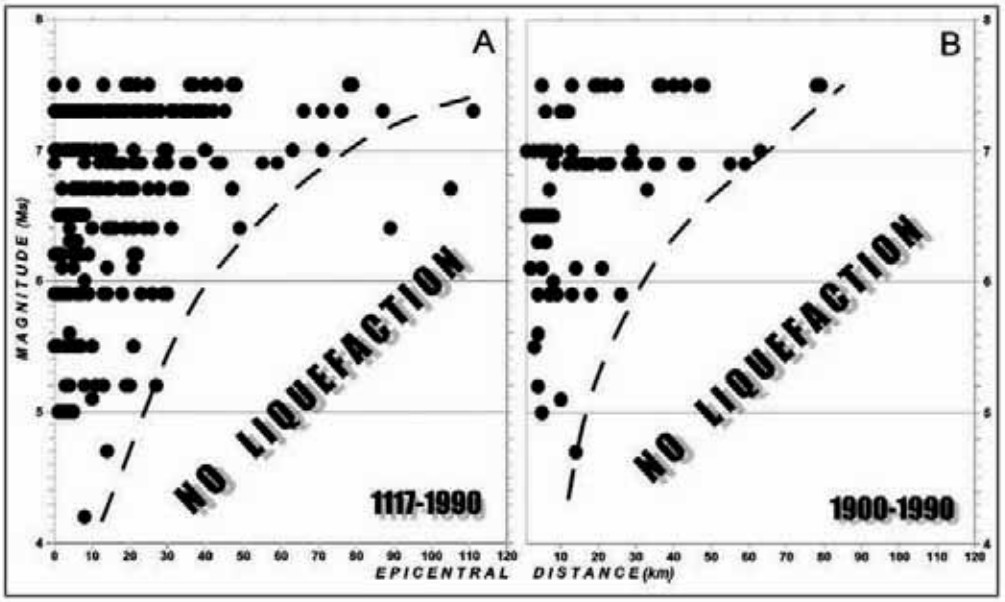


Figura 2.8-6 - Casi osservati di fenomeni di liquefazione in termini di M_s e distanza epicentrale (da Galli, 2000).

2.8.3 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Bazzurro, P. e Cornell, C.A. (1999) – Disaggregation of seismic hazard. *Bulletin of Seismological Society of America*, 89, 2, 501-520.

Galli, P. (2000) - New empirical relationships between magnitude and distance for liquefaction. *Tectonophysics* N. 324 pp. 169-187, Elsevier (www.elsevier.com/locate/tecto).

Gruppo di lavoro (2004) - *Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri N. 3274 del 20/3/03. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile*, INGV, Milano-Roma, aprile 2004.

Romeo, R.W. (2000) - Seismically induced landslide displacements: a predictive model. *Engineering Geology*, 58, 337-351.

Spallarossa, D. e Barani, S. (2007) - *Disaggregazione della pericolosità sismica in termini di M-R. Progetto DPC-INGV S1*, http://esse1.mi.ingv.it/d14.