

Indirizzi e criteri per la

MICROZONAZIONE SISMICA

Parti I e II



*Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile*

**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

Parti I e II

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

INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA

Curatori dei volumi

Fabrizio Bramerini, Giacomo di Pasquale, Giuseppe Naso, Massimiliano Severino

Coordinamento editoriale

Giovanni Bastianini

Art Director

Maurilio Silvestri

Grafica e impaginazione

Emiliana Colucci, Fabio Salamida

Roma, Settembre 2008



Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della protezione civile

© PCM - DPC 2008

Uso e citazione

È vietato lo sfruttamento commerciale. L'uso è consentito a condizione che venga citata correttamente la fonte.

Si raccomanda di utilizzare la seguente dicitura:

Gruppo di lavoro MS, 2008. *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*.

Conferenza delle Regioni e delle Province autonome - Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 vol. e Dvd.

VOLUME 1 - Parti I e II

<i>Presentazione</i>	11
1	INDIRIZZI E CRITERI 12
1.1	INTRODUZIONE 15
1.2	RIFERIMENTI NORMATIVI 22
1.3	SOGGETTI COINVOLTI NELLA PREDISPOSIZIONE DELLA MICROZONAZIONE SISMICA 23
1.4	DEFINIZIONI 24
1.5	GENERALITÀ 26
1.6	PRINCIPI ED ELEMENTI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA 29
1.6.1	Generalità 29
1.6.2	Dati di base 30
1.6.2.1	<i>Raccolta e archiviazione dati pregressi</i> 30
1.6.2.2	<i>Campagna indagini e nuovi dati</i> 30
1.6.2.3	<i>Dati cartografici</i> 30
1.6.2.4	<i>Dati di pericolosità di base</i> 30
1.6.2.5	<i>Dati per valutazioni delle amplificazioni</i> 31
1.6.2.6	<i>Dati per valutazioni di instabilità di versante</i> 31
1.6.2.7	<i>Dati per valutazioni della suscettibilità alla liquefazione</i> 32
1.6.2.8	<i>Dati per valutazioni delle faglie attive e capaci</i> 32
1.6.2.9	<i>Dati per valutazioni di cedimenti differenziali</i> 33
1.6.3	Livelli di approfondimento 33
1.6.3.1	<i>LIVELLO 1 – Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica</i> 33
1.6.3.2	<i>LIVELLO 2 – Carta di microzonazione sismica</i> 36
1.6.3.3	<i>LIVELLO 3 - Carta di microzonazione sismica con approfondimenti</i> 40
1.6.4	Modalità di presentazione dei dati, delle metodologie di elaborazione e dei risultati 41
1.6.5	Modalità di validazione degli studi di MS 42
1.6.6	Modalità di aggiornamento dei dati e dei risultati 42
1.7	PIANIFICAZIONE TERRITORIALE E URBANISTICA 43
1.7.1	Generalità 43
1.7.2	Pianificazione di area vasta (piani provinciali e altri piani territoriali) 43
1.7.2.1	<i>Obiettivi</i> 43
1.7.2.2	<i>Livello conoscitivo degli studi di microzonazione</i> 43
1.7.2.3	<i>Modalità di utilizzo degli studi</i> 44
1.7.3	Pianificazione comunale 45
1.7.3.1	<i>Generalità</i> 45

1.7.3.2	<i>Componente strutturale</i>	45
1.7.3.3	<i>Componente operativa</i>	48
1.7.3.4	<i>Componente attuativa-esecutiva</i>	51
1.8	PIANIFICAZIONE DELL'EMERGENZA	53
1.8.1	Generalità	53
1.8.2	Obiettivi	54
1.8.3	Modalità di utilizzo degli studi di microzonazione sismica	55
1.8.3.1	<i>Modalità speditiva (utilizzo del livello 1)</i>	55
1.8.3.2	<i>Modalità analitica (utilizzo del livello 2)</i>	57
1.8.3.3	<i>Modalità di utilizzo degli studi di MS di livello 3</i>	59
1.8.4	Procedure attuative	59
1.8.4.1	<i>Valutazione del grado di affidabilità dei dati</i>	59
1.8.4.2	<i>Modalità di rappresentazione</i>	59
1.8.4.3	<i>Tempi di aggiornamento</i>	59
1.9	PROGETTAZIONE DI OPERE	61
1.9.1	Generalità	61
1.9.2	Obiettivi	62
1.9.3	Modalità di utilizzo degli studi di MS	63
1.9.3.1	<i>Edilizia ordinaria di nuova edificazione</i>	63
1.9.3.2	<i>Edilizia ordinaria esistente</i>	64
1.9.3.3	<i>Opere strategiche di nuova edificazione</i>	65
1.9.3.4	<i>Opere strategiche esistenti</i>	66
1.9.4	Procedure attuative	66
1.9.4.1	<i>Valutazione del grado di affidabilità dei dati</i>	66
1.9.4.2	<i>Tempi di attuazione</i>	66
1.9.4.3	<i>Elaborazioni e risultati</i>	66
2	LINEE GUIDA	68
2.1	PROCEDURE PER LA PREDISPOSIZIONE DELLE INDAGINI	70
2.1.1	Generalità	70
2.1.2	Tipi di indagini	70
2.1.3	Indicazioni e raccomandazioni	72
2.2	PROCEDURA PER LA STESURA DELLA CARTA DELLE INDAGINI	74
2.2.1	Finalità	74
2.2.2	Scala di rappresentazione	74
2.2.3	Rappresentazione delle indagini	74
2.3	PROCEDURA PER LA STESURA DELLA CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (LIVELLO 1)	76
2.3.1	Delimitazione delle aree oggetto di studio	76

2.3.2	Scelta dei dati di base	76
2.3.3	Legenda e campo carta	76
2.3.4	Individuazione delle sezioni geolitologiche significative	81
2.4	PROCEDURA PER LA STESURA DELLA CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA	82
2.4.1	Dati di base	82
2.4.2	Legenda e campo carta	83
2.5	PROCEDURA PER LA COMPOSIZIONE E L'UTILIZZAZIONE DEGLI ABACHI PER AMPLIFICAZIONI (LIVELLO 2)	85
2.5.1	Obiettivo	85
2.5.2	Limiti di utilizzo degli abachi	85
2.5.2.1	<i>Limiti di utilizzo degli abachi per amplificazioni litostratigrafiche</i>	85
2.5.2.2	<i>Limiti di utilizzo degli abachi per amplificazioni topografiche</i>	86
2.5.3	Criteri generali per la composizione degli abachi per effetti litostratigrafici e topografici (a cura della Regione)	86
2.5.3.1	<i>Effetti litostratigrafici</i>	86
2.5.3.2	<i>Effetti topografici</i>	88
2.5.3.3	<i>Determinazione dei fattori FA e FV per gli effetti litostratigrafici</i>	88
2.5.4	Criteri generali per l'utilizzo degli abachi (a cura del soggetto realizzatore della MS)	89
2.5.4.1	<i>Dati di ingresso e modalità di utilizzo degli abachi per gli effetti litostratigrafici</i>	89
2.5.4.2	<i>Dati di ingresso e modalità di utilizzazione degli abachi per gli effetti topografici</i>	91
2.5.4.3	<i>Ricostruzione dello spettro elastico in superficie per amplificazioni litostratigrafiche</i>	91
2.5.5	Riferimenti bibliografici	94
2.6	PROCEDURA PER LA DEFINIZIONE DELLE INSTABILITÀ DI VERSANTE (LIVELLO 2)	95
2.6.1	Frane in pendii di terreno	95
2.6.1.1	<i>Impiego dei risultati ottenuti con metodi dinamici semplificati</i>	100
2.6.2	Frane in roccia	100
2.6.2.1	<i>Classificazione di ammasso roccioso in relazione a suscettibilità di frana sismoindotta per crollo</i>	101
2.6.2.2	<i>Parametri quali l'angolo d'ombra minimo ovvero l'angolo di attrito equivalente</i>	102
2.6.2.3	<i>Osservazioni di carattere prevalentemente geomorfologico su forme e depositi legati a precedenti fenomeni di crollo</i>	102
2.6.3	Riferimenti bibliografici	103
2.7	PROCEDURA PER LA VALUTAZIONE DELLA POSSIBILITÀ DI OCCORRENZA DI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE (LIVELLO 2)	104
2.7.1	Valutazione della possibilità di occorrenza di fenomeni di liquefazione	104
2.7.1.1	<i>Casi in cui si può escludere che si verifichino fenomeni di liquefazione</i>	104
2.7.1.2	<i>Metodi per la stima dei fenomeni di liquefazione</i>	105
2.7.1.3	<i>Definizione e calcolo dell'indice del potenziale di liquefazione</i>	106
2.7.2	Stima dei cedimenti permanenti nei terreni granulari saturi liquefacibili	106
2.7.3	Riferimenti bibliografici	107

2.8	PROCEDURA DI STIMA DELLA MAGNITUDO ATTESA, PER LE ANALISI NELLE ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITÀ	111
2.8.1	Premessa	111
2.8.2	Valutazione della magnitudo	111
2.8.3	Riferimenti bibliografici	118
	<i>INDICE DEI CONTENUTI DEL DVD</i>	119

VOLUME 2 - Parte III

3	APPENDICI	10
3.1	SCHEDE TECNICHE	13
3.1.1	Comportamento dinamico dei terreni	13
3.1.1.1	<i>Obiettivo</i>	13
3.1.1.2	<i>Definizione</i>	13
3.1.1.3	<i>Posizione del problema</i>	14
3.1.1.4	<i>Dati, metodi, risultati</i>	15
3.1.1.5	<i>Sensibilità dei depositi alle azioni sismiche</i>	17
3.1.1.6	<i>Indagini mirate alla caratterizzazione geotecnica del terreno e alla definizione dei parametri rappresentativi del comportamento dinamico dei terreni</i>	17
3.1.1.7	<i>Caso di studio</i>	19
3.1.1.8	<i>Indicazioni e raccomandazioni</i>	22
3.1.1.9	<i>Bibliografia</i>	23
3.1.1.10	<i>Riferimenti bibliografici</i>	23
3.1.1.11	<i>Glossario</i>	24
3.1.2	Frane sismoindotte	26
3.1.2.1	<i>Introduzione</i>	26
3.1.2.2	<i>Valutazione delle condizioni di predisposizione</i>	26
3.1.2.3	<i>Analisi quantitativa delle condizioni di stabilità</i>	27
3.1.2.4	<i>Mitigazione del rischio da frane-sismoindotte</i>	31
3.1.2.5	<i>Interventi di stabilizzazione</i>	32
3.1.2.6	<i>Riferimenti bibliografici</i>	32
3.1.3	Pericolo di liquefazione	34
3.1.3.1	<i>Obiettivo</i>	34
3.1.3.2	<i>Definizione</i>	34
3.1.3.3	<i>Fisica del fenomeno, effetti sul territorio, sulle costruzioni e sulle infrastrutture</i>	34
3.1.3.4	<i>Metodi di analisi e indagini</i>	36
3.1.3.5	<i>Contromisure</i>	38
3.1.3.6	<i>Bibliografia</i>	38
3.1.4	Fagliazione di superficie	39

3.1.4.1	<i>Obiettivo</i>	39
3.1.4.2	<i>Definizione</i>	39
3.1.4.3	<i>Effetti di fagliazione di superficie</i>	39
3.1.4.4	<i>Elementi sensibili</i>	39
3.1.4.5	<i>Indagini mirate all'identificazione e parametrizzazione di una faglia attiva</i>	40
3.1.4.6	<i>Caso di studio</i>	41
3.1.4.7	<i>Indicazioni e raccomandazioni</i>	42
3.1.4.8	<i>Bibliografia</i>	43
3.1.4.9	<i>Riferimenti bibliografici</i>	43
3.1.4.10	<i>Glossario</i>	43
3.1.5	Misure passive del rumore sismico ambientale	45
3.1.5.1	<i>Obiettivo</i>	45
3.1.5.2	<i>Definizione</i>	45
3.1.5.3	<i>Posizione del problema</i>	45
3.1.5.4	<i>Metodi e risultati</i>	46
3.1.5.5	<i>Questioni sensibili e limiti</i>	47
3.1.5.6	<i>Esempio di un'esperienza in Italia</i>	47
3.1.5.7	<i>Raccomandazioni</i>	48
3.1.5.8	<i>Strumentazione e tecniche di acquisizione</i>	48
3.1.5.9	<i>Riferimenti bibliografici</i>	57
3.1.5.10	<i>Glossario</i>	58
3.1.6	Studio di <i>strong/weak motion</i> per la risposta sismica locale	59
3.1.6.1	<i>Obiettivo</i>	59
3.1.6.2	<i>Premessa</i>	59
3.1.6.3	<i>Base teorica</i>	59
3.1.6.4	<i>Esecuzione delle misure e trattamento dei dati</i>	60
3.1.6.5	<i>Esempi italiani</i>	61
3.1.6.6	<i>Considerazioni riassuntive</i>	62
3.1.6.7	<i>Riferimenti bibliografici</i>	63
3.1.6.8	<i>Glossario</i>	64
3.1.7	Simulazioni numeriche e codici di calcolo	65
3.1.7.1	<i>Introduzione</i>	65
3.1.7.2	<i>Analisi monodimensionali</i>	65
3.1.7.3	<i>Analisi bidimensionali</i>	70
3.1.7.4	<i>Riferimenti bibliografici</i>	79
3.1.8	Moto di input per simulazioni numeriche	81
3.1.8.1	<i>Obiettivo</i>	81
3.1.8.2	<i>Posizione del problema</i>	81
3.1.8.3	<i>Metodologie</i>	81
3.1.8.4	<i>Esempi di riferimento</i>	85
3.1.8.5	<i>Indicazioni e raccomandazioni</i>	86
3.1.8.6	<i>Riferimenti bibliografici</i>	87

3.1.9	Valutazione della risposta sismica locale dalla tipologia e dal danno degli edifici rilevati post-sisma	88
3.1.9.1	<i>Introduzione</i>	88
3.1.9.2	<i>Determinazione dello scuotimento a partire dal danno subito</i>	88
3.1.9.3	<i>Il caso di San Giuliano di Puglia (terremoto del Molise-Puglia del 2002)</i>	90
3.1.9.4	<i>Riferimenti bibliografici</i>	92
3.1.10	Zonazione sismica e Classificazione sismica dei comuni	93
3.1.10.1	<i>Obiettivo</i>	93
3.1.10.2	<i>Definizione</i>	93
3.1.10.3	<i>Storia della Classificazione sismica</i>	93
3.1.10.4	<i>Criteri di utilizzazione dei dati di pericolosità per "classificare" i comuni</i>	98
3.1.10.5	<i>Utilizzabilità della Classificazione sismica e di altri tipi di classificazione per politiche di riduzione del rischio</i>	100
3.1.10.6	<i>Riferimenti bibliografici</i>	101
3.1.11	Pianificazione per l'emergenza	107
3.1.11.1	<i>L'evoluzione del quadro normativo nazionale di protezione civile</i>	107
3.1.11.2	<i>La pianificazione per l'emergenza</i>	110
3.1.11.3	<i>Il piano di emergenza</i>	110
3.1.12	Scenari di danno per la pianificazione per l'emergenza	112
3.1.12.1	<i>Introduzione</i>	112
3.1.12.2	<i>Metodologie generali per le elaborazioni di scenari di danno</i>	112
3.1.13	Modellazione degli effetti di amplificazione negli scenari di danno	116
3.1.13.1	<i>Obiettivo</i>	116
3.1.13.2	<i>Definizione</i>	116
3.1.13.3	<i>Posizione del problema</i>	116
3.1.13.4	<i>Casi di studio italiani</i>	118
3.1.13.5	<i>Riferimenti bibliografici</i>	121
3.2	ABACHI DI RIFERIMENTO PER GLI EFFETTI LITOSTRATIGRAFICI (LIVELLO 2)	122
3.2.1	<i>Modello del sottosuolo</i>	122
3.2.2	<i>Input sismici di riferimento</i>	124
3.2.3	<i>Simulazioni numeriche</i>	126
3.2.4	<i>Abachi</i>	127
3.2.5	<i>Riferimenti bibliografici</i>	157
3.3	ABACHI DI RIFERIMENTO PER GLI EFFETTI TOPOGRAFICI (LIVELLO 2)	158
3.3.1	<i>Creste rocciose</i>	158
3.3.2	<i>Scarpate rocciose</i>	159
3.3.3	<i>Riferimenti bibliografici</i>	160
3.4	ISTRUZIONI TECNICHE PER L'ESECUZIONE, L'ACQUISIZIONE DATI E LA PRESENTAZIONE DEI RISULTATI DELLE INDAGINI GEOLOGICHE, GEOFISICHE E GEOTECNICHE.	163

3.4.1	Introduzione	163
3.4.2	Rilevamenti geologici, geomorfologici e litologico-tecnici	164
3.4.2.1	<i>Generalità</i>	164
3.4.2.2	<i>Elaborati geologici, geomorfologici e litologico-tecnici</i>	169
3.4.3	Indagini geofisiche	178
3.4.3.1	<i>Generalità</i>	178
3.4.3.2	<i>Indagini di sismica a rifrazione e a riflessione</i>	181
3.4.3.3	<i>Indagini di sismica attiva</i>	218
3.4.3.4	<i>Indagini SASW (Spectral analysis surface wave)</i>	342
3.4.3.5	<i>Prova del cono sismico (Seismic cone penetration test)</i>	254
3.4.3.6	<i>Indagini geoelettriche</i>	256
3.4.3.7	<i>Indagini di sismica passiva</i>	261
3.4.3.8	<i>Riferimenti bibliografici</i>	268
3.4.4	Indagini geotecniche	270
3.4.4.1	<i>Generalità</i>	270
3.4.4.2	<i>Indagini in sito</i>	273
3.4.4.3	<i>Prove di laboratorio</i>	343
3.4.4.4	<i>Riferimenti bibliografici</i>	360
3.4.5	Relazione illustrativa e modalità di presentazione dei dati	361
3.4.5.1	<i>Generalità</i>	361
3.4.5.2	<i>Descrizione degli elaborati cartografici</i>	361
3.4.5.3	<i>Illustrazione dei risultati delle indagini geofisiche e geotecniche in relazione agli elaborati cartografici redatti</i>	362
3.4.5.4	<i>Informazioni standard relative alle prove in sito e in laboratorio da indicare nella relazione</i>	362
3.4.5.5	<i>Informazioni standard relative ai sondaggi da indicare nella relazione</i>	363
3.4.6	Normativa tecnica	365
3.4.7	Bibliografia	366

VOLUME 3

GLOSSARIO

IN ALLEGATO

ESEMPI DI CARTE DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA

BOJANO (CB)

CASSANO MAGNANO (BA)

MONTE SAN GIOVANNI CAMPANO (FR)

SENIGALLIA (AN)

SUSA (TO)

Presentazione

Con l'approvazione di questi "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" da parte della Conferenza delle Regioni e delle Province autonome, si è concluso un impegnativo lavoro, reso possibile dalla convinta e forte sinergia espressa dal Dipartimento della protezione civile, dalle Regioni e dalle Province autonome.

Non esitiamo a definire i risultati raggiunti un importante passo avanti nel campo della prevenzione, sia dal punto di vista scientifico, sia dal punto di vista operativo, riguardo ai metodi e agli strumenti proposti. Questo risultato scaturisce da un percorso tecnico-amministrativo condiviso con i potenziali attori delle politiche di intervento sul territorio finalizzate alla riduzione del rischio sismico.

Alla predisposizione di questo documento hanno contribuito oltre 100 tecnici ed esperti che hanno accettato, con entusiasmo e spirito di servizio, di mettere in campo le loro specifiche competenze, rendendosi disponibili al confronto interdisciplinare e al dialogo con le amministrazioni direttamente coinvolte.

Al di là dei risultati conseguiti riteniamo che debba essere sottolineata l'importanza del rapporto di collaborazione, nel raggiungimento di intenti condivisi, tra il mondo professionale, quello della ricerca e le istituzioni pubbliche.

Ci auguriamo che a questo documento possano seguire ulteriori e proficue attività comuni volte ad accelerare il raggiungimento dell'obiettivo di una concreta, sistematica e diffusa mitigazione del rischio sismico nel nostro Paese.

Il Sottosegretario di Stato
alla Presidenza del Consiglio dei Ministri
e Capo Dipartimento della Protezione Civile

Guido Bertolaso

Il Presidente
della Conferenza dei Presidenti delle Regioni
e delle Province autonome

Vasco Errani

C.N.R. PROGETTO FINALIZZATO "GEODINAMICA"

COMUNE DI
4.6 S. ANGELO DEI LOMBARDI TAV.2

MICROZONAZIONE SISMICA PRELIMINARE

SCALA 1:5000

a₁



Zone interessate da frane in atto (F₁, F₂, F₃ della carta geologico-technica) e loro fascia di rispetto.

Edificazione sconsigliata. Eventuali attraversamenti di queste zone con infrastrutture (strade, acquedotti, ecc.) dovranno essere realizzati secondo tracciati e con modalità costruttive sulla base di opportune indagini (vedi relazione).

a₂



Zone in condizioni geomorfologiche caratterizzate da versanti ad elevata acclività e talora scoscesi.

*Edificazione di regola sconsigliata o comunque subordinata alla realizzazione di opportune fondazioni ed all'applicazione del coefficiente di pendio (V. relazione).**

a₃



Zone che in occasione del terremoto del 23-11-1980 sono state interessate da fenditure e dislocazioni del terreno.

Edificazione ed altri interventi costruttivi sconsigliati.

b₁



Zone in condizioni di stabilità precaria (F₄ ed F₅ della carta geologico-technica).

*Eventuali nuove edificazioni, od altri interventi costruttivi possibili solo sulla base dei risultati delle indagini miranti in particolare ad accertare le condizioni di stabilità.**

b₂



Zone di marcata disuniformità del sottosuolo in senso orizzontale e verticale, con terreni di proprietà meccaniche anche scadenti (successioni 2, 3, 4 e 5 della carta geologico-technica).

Edificazioni e recupero delle costruzioni danneggiate subordinati all'accertamento delle caratteristiche dei terreni (proprietà meccaniche, spessori, ecc.) ed alla scelta di fondazioni adeguate. Si raccomanda in particolare lo stretto rispetto dei requisiti di deformabilità laterale dinamica prescritti nella relazione.



Zone litologicamente e morfologicamente simili rispettivamente alle zone a₁ e b₁.
Valgono le prescrizioni indicate per le une e per le altre zone.



Zone con terreni di superficie con caratteristiche tecniche di regola scadenti e per le quali si è manifestata una forte esaltazione dei danneggiamenti in occasione del terremoto del 23-11-1980, verosimilmente imputabili a condizioni geologiche locali.
Si sconsiglia la riedificazione in attesa di ulteriori accertamenti.



Zone generalmente stabili, con possibili modesti dissesti a carattere locale (F₆ della carta geologico-technica).

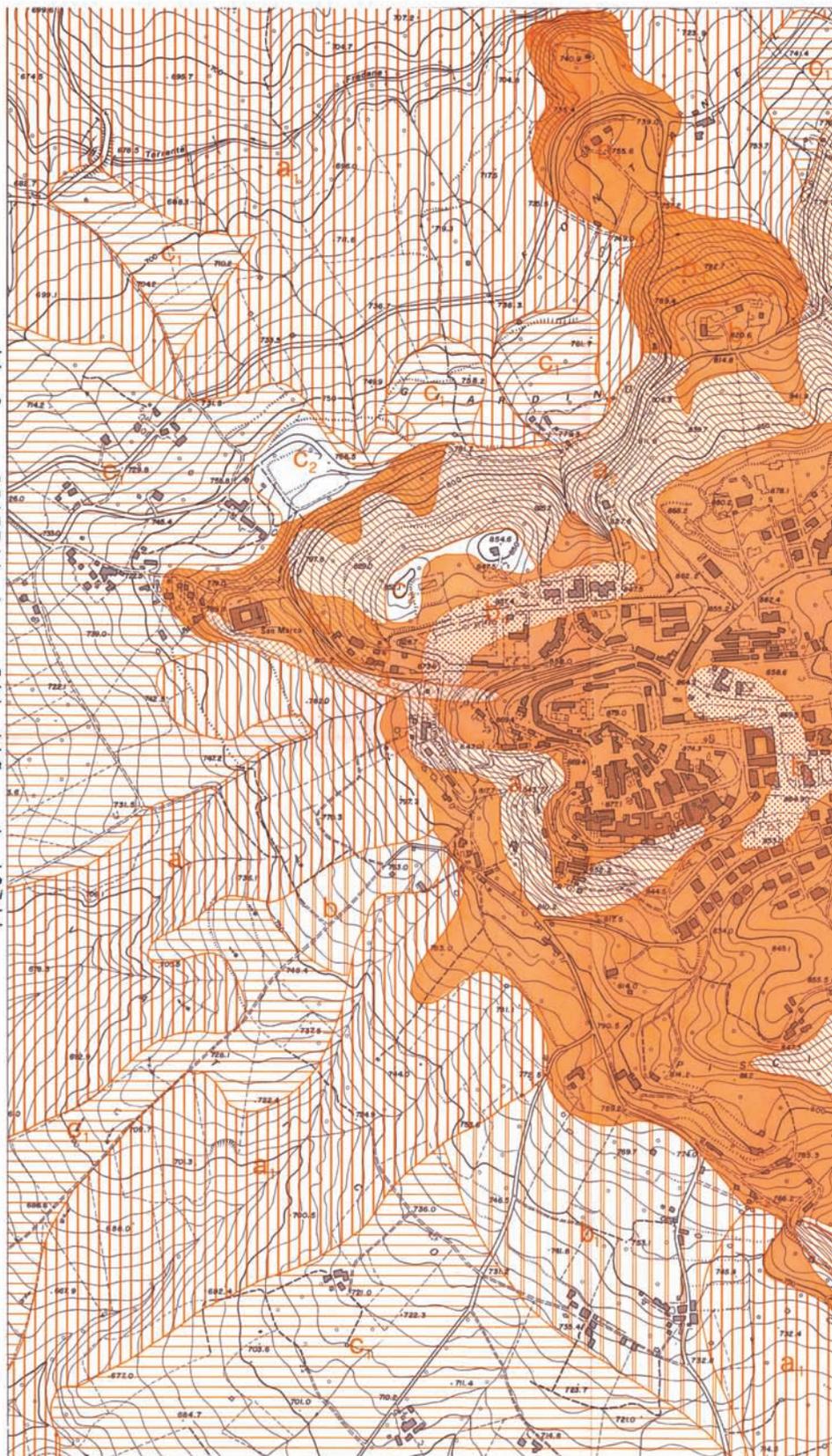
Recupero come zone b₁. Edificazione ed altri interventi costruttivi possibili previa bonifica degli eventuali dissesti.



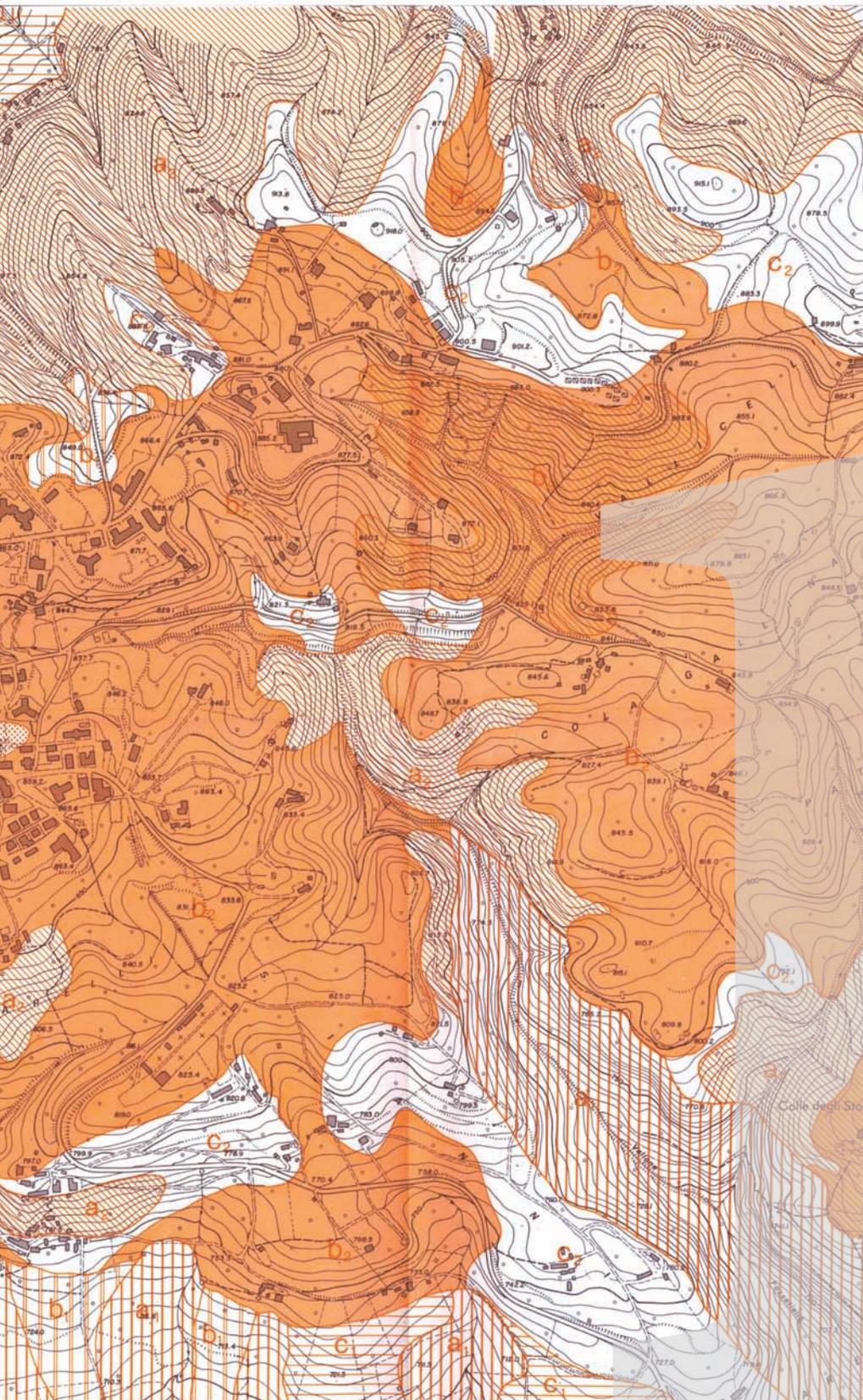
Zone di buone caratteristiche litologiche e morfologiche.

Non si ritiene necessario avanzare indicazioni particolari, se non la rigorosa applicazione dei criteri antisismici e delle raccomandazioni indicate in relazione per l'intero Comune.

* Recupero edilizio secondo i criteri indicati in relazione.



Indirizzi e criteri



Microzonazione sismica preliminare del Comune di S. Angelo dei Lombardi (AV). (CNR - PFG, 1984).

1.1 Introduzione

Le amministrazioni pubbliche – Stato, Regioni ed enti locali – predispongono strumenti finalizzati alla riduzione dei rischi. Il miglioramento delle condizioni di vita spinge costantemente ad aspettative della popolazione sempre più stringenti per quanto riguarda l'abbassamento dei livelli di rischio accettabili. Per abbassare tali livelli e migliorare i risultati occorre che le amministrazioni mettano in atto sistemi sempre più efficaci ed efficienti. Tali sistemi dovrebbero comportare un miglioramento continuo della valutazione dei rischi, delle misure intraprese per la loro riduzione e della maggiore consapevolezza da parte della popolazione e dei vari soggetti coinvolti (imprese, associazioni, ecc.) sui rischi che si corrono e sui livelli di abbattimento. Le richieste di mitigazione del rischio non vengono definite direttamente ed in termini specifici da parte della popolazione stessa, se non, talora, in modo indiretto e spesso solo successivamente ad eventi che hanno determinato perdite e costi per l'intera comunità. Pertanto, tali richieste non possono da sole garantire dei requisiti ritenuti accettabili, anche in considerazione del fatto che le condizioni generali, sia della normativa che dell'organizzazione, sono carenti per quanto riguarda la gestione dei rischi. Di conseguenza ciò deve indurre allo sviluppo di norme e linee guida sulla gestione dei rischi.

Il sistema di gestione di un'amministrazione, e più in generale di un'organizzazione, è influenzato dai suoi obiettivi, dai suoi strumenti, dal suo modo di operare e, pertanto, l'inclusione delle analisi di rischio varia da un'amministrazione all'altra. Uno degli obiettivi principali degli indirizzi e criteri per le analisi e le valutazioni del rischio è migliorare i sistemi e i processi in modo da conseguire la mitigazione del rischio stesso ed un miglioramento delle condizioni di sicurezza.

I presenti *Indirizzi e criteri generali per la microzonazione sismica* intendono costituire un nucleo relativo all'analisi di pericolosità sismica, necessario all'analisi del rischio sismico, applicabile ai settori della programmazione territoriale, della pianificazione urbanistica, della pianificazione dell'emergenza e della normativa tecnica per la progettazione.

Per microzonazione sismica (MS) si intende la "valutazione della pericolosità sismica locale attraverso l'individuazione di zone del territorio caratterizzate da comportamento sismico omogeneo. In sostanza la MS individua e caratterizza le zone stabili, le zone stabili suscettibili di amplificazione locale del moto sismico e le zone suscettibili di instabilità." Le problematiche trattate dagli studi di MS hanno avuto un forte sviluppo a livello scientifico negli ultimi anni, anche se la loro importanza era emersa già in epoca passata.

È da tempo noto che le condizioni locali dei terreni di fondazione condizionano in modo importante gli effetti del terremoto. Già un secolo fa i criteri informativi delle norme tecniche approvate con regio decreto 18 aprile 1909, n. 193, a seguito del disastroso terremoto di Messina e Reggio Calabria del 1908, riportavano il divieto di nuove costruzioni e ricostruzioni "su terreni posti sopra e presso fratture, franosi o atti comunque a scoscendere, od a comunicare ai fabbricati vibrazioni e sollecitazioni tumultuarie per differente costituzione geologica o diversa resistenza delle singole parti di essi"¹.

È facile leggere in questa sola frase come già all'epoca fossero chiari gli effetti del terremoto in termini di

¹ Ministero dei lavori pubblici – Direzione generale dei servizi speciali (1932) - L'azione del Governo fascista per la ricostruzione delle zone danneggiate da calamità.

scuotimento (deformazioni reversibili) e deformazioni permanenti, e come esse fossero collegate fortemente alle caratteristiche locali dei terreni.

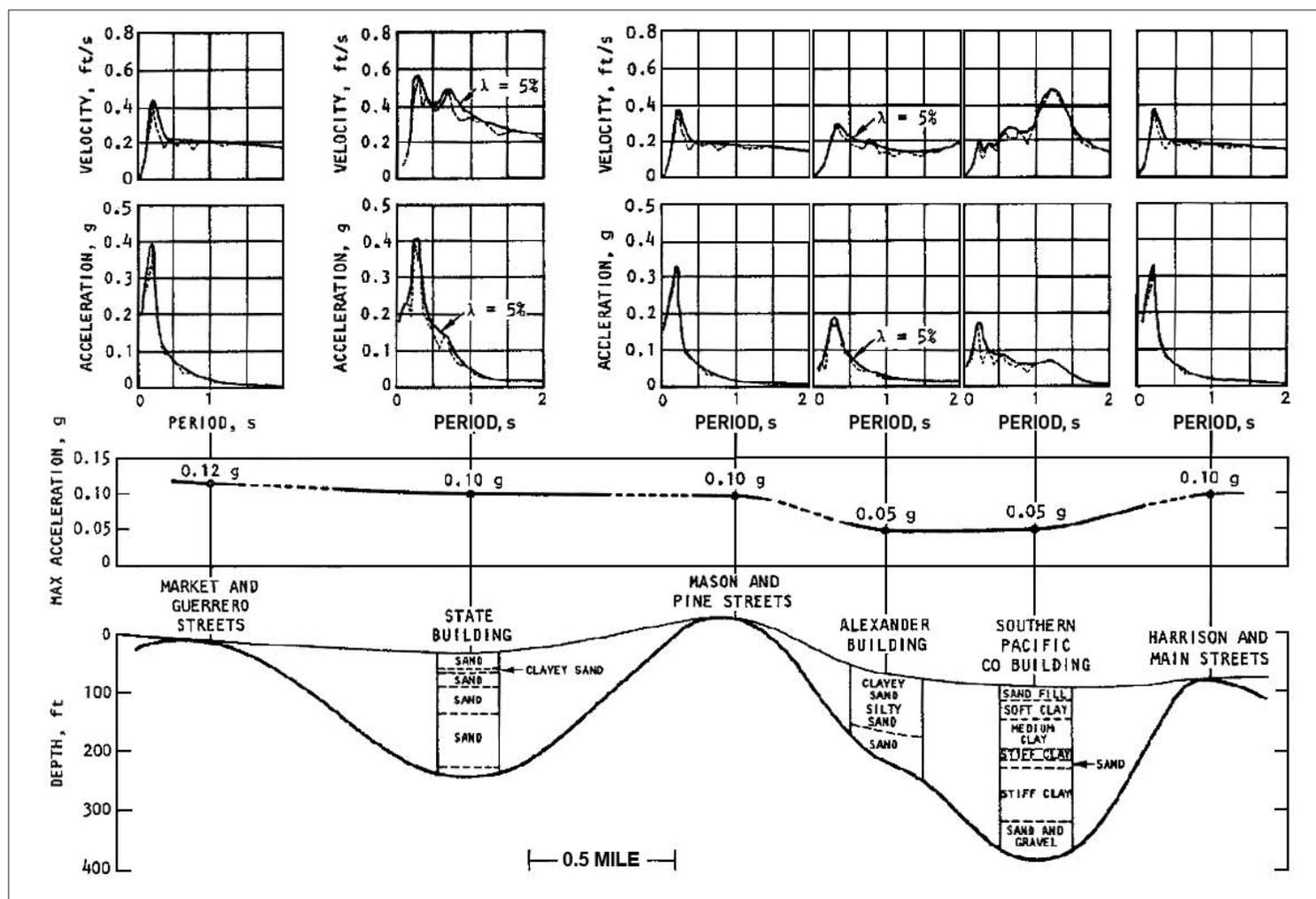


Figura 1.1-1 - Variazione dello scuotimento su una sezione di 4 miglia di S. Francisco, nel terremoto del 1957 (Seed e Idriss, 1969).

In uno studio condotto nel 1969 da Seed ed Idriss² sulle registrazioni accelerometriche effettuate in occasione del terremoto di S. Francisco del 1957, emersero risultati che indicavano con evidenza come nell'ambito della stessa città, a poche centinaia di metri di distanza, lo stesso terremoto provocasse scuotimenti decisamente differenti in dipendenza degli spessori e delle caratteristiche dei terreni più soffici presenti negli strati più superficiali. Ulteriori studi effettuati in anni successivi, utilizzando le registrazioni accelerometriche e modelli strutturali di edifici, mostrarono come essi risentissero di forze sismiche molto diverse, sia in termini di risultante globale, sia in termini di contenuto in frequenza, spiegando in tal modo alcune evidenti differenze di danneggiamento riscontrate in strutture simili su terreni diversi.

Da allora gli studi su molti terremoti (es. Città del Messico, 1986; Kobe, 1992; Izmit, 1999) hanno con-

² Seed, H.B. e Idriss, I.M. (1969) – Influence of soil conditions on ground motion during earthquakes. *Journal of soil mechanics and foundation division, ASCE*, vol. 95, N. SM1.

tinuato a mostrare con sempre maggiore evidenza come le caratteristiche locali del territorio possano alterare in maniera evidente l'azione sismica. Anche in Italia, recentemente (Umbria-Marche, 1997), sono state evidenziate situazioni in cui vengono mostrati livelli di danneggiamento estremamente diversi in edifici simili, dal punto di vista strutturale, in siti distanti poche centinaia di metri fra loro. Nella stessa località sono state effettuate registrazioni accelerometriche durante un aftershock, che hanno mostrato come i livelli di scuotimento nel sito in pianura su terreni sciolti siano stati amplificati di oltre il doppio, rispetto al sito su roccia ed abbiano avuto una durata molto più lunga.



Figura 1.1-2 – Terremoto Umbria-Marche, 1997. Differenza di danneggiamento in località vicine, dovute ad effetti locali. A sinistra Cesi Bassa (IX MCS), a destra Cesi Villa (VII MCS).

Come spesso avviene, la conoscenza dell'importanza di un fenomeno trova solo gradatamente riscontro nella realizzazione pratica delle opere, tanto che gli incrementi di scuotimento legati alla natura dei terreni sono stati introdotti nella normativa sismica italiana a partire dal 1975 e sono rimasti ancorati, fino al 2003, ad un coefficiente di fondazione "di regola pari ad 1", che raggiungeva il valore 1.3 nel caso di "fondazioni su suoli di più elevata compressibilità"³.

Oltre ai fenomeni di amplificazione del moto, anche fenomeni di liquefazione, rotture di faglie in superficie, instabilità di versanti sono stati osservati già da diversi secoli in occasione di terremoti ed esistono numerose testimonianze storiche.

Gli studi di microzonazione sismica hanno l'obiettivo di razionalizzare la conoscenza di questi fenomeni restituendo informazioni utili per chi deve pianificare o realizzare interventi sul territorio.

³ DM 3 marzo 1975, n. 39. Approvazione delle norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche.



Figura 1.1-3 – Effetti dovuti a liquefazione (Izmit, Turchia, 1999).



Figura 1.1-4 - Fagliazione superficiale (Izmit, Turchia, 1999).

Il percorso intrapreso per la predisposizione dei presenti *Indirizzi e criteri generali per la microzonazione sismica*, ha visto il coinvolgimento delle Regioni, delle Province autonome e dello Stato (Dipartimento della protezione civile - DPC). Tale percorso, pur oneroso in termini organizzativi e per i tempi necessari, vanta alcune prerogative proprie di simili processi.

Innanzitutto esso è potenzialmente in grado di generare prodotti migliori, poiché nel corso del dibattito fra più soggetti si procede alla ridefinizione dei problemi e si pongono nuove mediazioni e soluzioni. In secondo luogo le decisioni acquistano maggiore legittimità, in quanto non prodotte separatamente da un piccolo gruppo, ma da una pluralità di persone, alcune delle quali possono anche non condividere del tutto le decisioni finali, ma tutte riconoscono la legittimità della procedura attuata. Infine, tali tipi di percorsi promuovono il dialogo e costruiscono rapporti di fiducia reciproca.

Il processo ha preso avvio all'inizio del 2006, quando il DPC ha proposto⁴ alla Commissione protezione civile della Conferenza delle Regioni e delle Province autonome (CRP) di istituire un Gruppo di lavoro (composto da tecnici/esperti nominati dalle Regioni e dal DPC) per definire degli *Indirizzi e criteri generali per la microzonazione sismica*. Le prime esperienze regionali sulla microzonazione dopo vari eventi sismici e alcune normative regionali su tale ambito hanno rappresentato le condizioni preliminari per creare delle basi comuni e condivise, recependo quanto è stato elaborato e sperimentato a livello scientifico e sviluppando le istanze espresse in vario modo dalle regioni e dalle amministrazioni locali.

La Commissione protezione civile approva tale proposta all'unanimità⁵ e stabilisce che il suddetto Gruppo di lavoro (Gdl) operi in sinergia con la Sottocommissione 8 "Attuazione della normativa sismica" coordinata dalla Regione Umbria. Il 16 novembre 2006 la Sottocommissione 8 definisce attività e obiettivi del Gdl, che si insedia il 19 febbraio 2007. Il Gdl stabilisce un programma di lavoro di un anno, che prevede la costituzione di 4 sottogruppi, la predisposizione di 3 bozze intermedie da inviare alla Sottocommissione 8, un rapporto da inviare ad alcuni soggetti esterni per raccogliere commenti e osservazioni (fase di consultazione) e un rapporto finale da trasmettere alla CRP. Il DPC fornisce il supporto operativo e organizzativo.

Nell'ottobre 2007 la Sottocommissione 8 invita i rappresentanti dei soggetti esterni⁶ ad una conferenza per l'avvio della fase consultiva. In quella sede viene proposto un questionario per i commenti e le osservazioni. Le osservazioni inviate vengono recepite nel presente documento, che viene approvato dal Gdl e trasmesso alla Sottocommissione 8 per l'approvazione da parte della CRP.

Il Gdl, nel corso dei lavori e recependo le osservazione dei soggetti esterni, ha evidenziato che la sperimentazione e l'applicazione degli *Indirizzi e criteri generali per la microzonazione sismica* rientrano a pieno titolo nei programmi nazionali di previsione e prevenzione previsti dall'articolo 4 della legge 24 febbraio 1992, n. 225⁷.

Per un concreto avvio di tale sperimentazione devono essere affrontati due punti critici: il primo riguarda la definizione di una struttura esperta interistituzionale con compiti di monitoraggio e supporto alle attività avviate dalle regioni e con compiti di aggiornamento degli indirizzi e criteri stessi; il secondo riguarda la definizione di standard e strumenti finalizzati all'archiviazione e gestione dei dati necessari per gli studi di MS.

Su questi punti le singole regioni e lo stesso DPC hanno già avviato lavori e sperimentazioni, che necessitano di specifiche calibrature finalizzate agli studi di MS e, soprattutto, a raccordare in modo omogeneo gli strumenti fino ad oggi esistenti nei diversi contesti istituzionali.

4 DPC, Proposta di istituzione di un Gruppo di Lavoro che definisca *Indirizzi e criteri generali per la microzonazione sismica*, 21 aprile 2006, prot. DPC/SSN/0021305.

5 CRP, Commissione protezione civile, riunione politico istituzionale del 20 luglio 2006.

6 Consiglio nazionale dei geologi, Consiglio nazionale degli ingegneri, Consiglio nazionale degli architetti, Consiglio nazionale dei geometri, Associazione nazionale comuni italiani, Unione province italiane, Unione nazionale comuni comunità enti montani, Associazione geotecnica italiana, Associazione italiana di geologia applicata e ambientale, Associazione nazionale italiana di ingegneria sismica, Istituto nazionale di urbanistica e Tavolo tecnico governo del territorio della CRP.

7 Il Dipartimento della protezione civile predispose, sulla base degli indirizzi approvati dal Consiglio dei Ministri e in conformità ai criteri determinati dal Consiglio nazionale della protezione civile di cui all'art. 8, i programmi nazionali di previsione e prevenzione in relazione alle varie ipotesi di rischio, i programmi nazionali di soccorso e i piani per l'attuazione delle conseguenti misure di emergenza (Articolo 4).

Gruppo di lavoro

CONFERENZA DELLE REGIONI E DELLE PROVINCE AUTONOME

COMMISSIONE PROTEZIONE CIVILE

(Regione capofila Friuli Venezia Giulia)

SOTTOCOMMISSIONE 8 ATTUAZIONE DELLA NORMATIVA SISMICA

Alessandro Severi	Dirigente protezione civile Regione coordinatrice (Umbria)
-------------------	--

DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE

Mauro Dolce	Direttore dell'Ufficio valutazione, prevenzione e mitigazione del rischio sismico e attività ed opere post-emergenza
-------------	--

SUPPORTO OPERATIVO E ORGANIZZATIVO

Fabrizio Brammerini	DPC
Giacomo Di Pasquale	DPC
Giuseppe Naso	DPC
Massimiliano Severino	DPC

ATTIVITÀ DI RACCORDO CON LA SOTTOCOMMISSIONE 8

Federico Marani	Umbria
Maurizio Tesorini	Umbria

SOTTOGRUPPO 1 - BASE DATI, METODOLOGIE E RISULTATI DI MS

Dario Albarello	Consulente DPC
Massimo Baglione	Toscana
Sergio Baranello	Molise
Arnaldo Boscherini	Umbria
Gianni Burba	Friuli Venezia Giulia
Claudio Carraro	Bolzano
Giacomo Catalano	Lazio
Laura Cavaleri	Consulente DPC
Antonio Colombi	Lazio
Riccardo CarloConte	Piemonte
Rossella Defina	Catabria
Maurizio Ferrini	Toscana
Andrea Franceschini	Trento
Michele Fumarola	Marche
Giancarlo Gaglioli	Lazio
Luca Martelli	Emilia-Romagna
Rossella Monaco	Molise
Andrea Motti	Umbria
Marco Mucciarelli	Consulente Basilicata
Giuseppe Naso	DPC
Ludwig Nössing	Bolzano
Maurizio Parotto	Consulente DPC
Floriana Pergalani	Consulente Lombardia
Francesco Ponziani	Umbria
Antonio Pugliese	Consulente Lazio
Alessandro Rebez	Friuli Venezia Giulia
Leonardo Santoro	Sicilia
Herbert Sarri	Piemonte
Gabriele Scarascia Mugnozza	Consulente DPC
Mario Smargiasso	Marche
Pierpaolo Tiberi	Marche

SOTTOGRUPPO 2 - RELAZIONE FRA MS E NORME TECNICHE

Tonino Achilli	Marche
Anna Ambrosio	Lazio
Paolo Angeletti	Consulente Umbria
Luigi Cicalese	Campania
Sandro Costantini	Umbria
Teresa Crespellani	Consulente Emilia-Romagna
Eugenio Di Loreto	Lazio
Giacomo Di Pasquale	DPC
Vittorio D'Intinosante	Toscana
Andrea Franceschini	Trento
Maurizio Iallonghi	Liguria
Giuseppe Lanzo	Consulente DPC
Valerio Marangolo	Toscana
Sergio Perdiceni	Lombardia
Carmine Salsano	Campania
Tito Sanò	Consulente DPC
Nicola Sciarra	Consulente Abruzzo
Adelaide Sericola	Lazio
Giulio Zuccaro	Consulente Campania

SOTTOGRUPPO 3

RELAZIONE FRA MS E PIANIFICAZIONE TERRITORIALE E URBANISTICA

Nazzareno Annetti	Umbria
Sergio Baranello	Molise
Marina Bonaudo	Piemonte
Fabrizio Brammerini	DPC
Giancarlo Casini	Marche
Fulvio Colasanto	Lazio
Franco Daminato	Trento
Francesco D'Ascanio	Abruzzo
Silvio De Andrea	Lombardia
Francesca De Cesare	Lombardia
Maurizio Iallonghi	Liguria
Emilio Iannarelli	Abruzzo
Giuseppe Las Casas	Consulente DPC
Paola Mazzotti	Marche
Rossella Monaco	Molise
Massimo Olivieri	Consulente DPC
Alberto Orazi	Lazio
Angelo Pistelli	Umbria
Maria Romani	Emilia-Romagna
Carmine Salsano	Campania
Paolo Urbani	Consulente DPC

SOTTOGRUPPO 4 - RELAZIONE FRA MS E PIANIFICAZIONE PER L'EMERGENZA

Claudio Carraro	Bolzano
Franco De Giglio	Piemonte
Elvezio Galanti	DPC
Maria Ioannilli	Consulente DPC
Antonio Monni	Emilia-Romagna
Ludwig Nössing	Bolzano
Marco Ogna	Umbria
Sandro Peressin	Piemonte

Sabrina Primerano	Emilia-Romagna
Nicola Salvatore	Veneto
Massimiliano Severino	DPC
Monica Sugan	Veneto
Maurizio Tesorini	Umbria
Pierpaolo Tiberi	Marche
Antonio Torrisi	Sicilia
Maurizio Zangari	Sardegna
Giulio Zuccaro	Consulente Campania

COLLABORAZIONI SPECIFICHE ALLA PREDISPOSIZIONE DEGLI INDIRIZZI E CRITERI

Francesco Fazio	Sottogruppo 3 (pianificazione di area vasta e comunale, struttura urbana minima)
Francesco Giordano	Sottogruppo 1 (elaborazioni informatiche per gli abachi)
Salomon Hailemikael	Sottogruppo 1 (elaborazioni cartografiche)
Cosmo Mercuri	Sottogruppo 3 (pianificazione di area vasta e comunale)
Filomena Papa	Sottogruppo 4 (pianificazione per l'emergenza, scenari)
Roberto Parotto	Sottogruppo 3 (pianificazione di area vasta e comunale, struttura urbana minima)
Monica Picone	Sottogruppo 1 (metodologie e basi dati, instabilità di versante)

PREDISPOSIZIONE DELLE LINEE GUIDA E DELLE APPENDICI

Procedure per la predisposizione delle indagini	Giuseppe Naso, Giacomo Di Pasquale
Procedura per la stesura della Carta delle Indagini	Luca Martelli
Procedura per la stesura della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1)	Giuseppe Naso, Gabriele Scarascia Mugnozza, Stefano Rivellino, Salomon Hailemikael
Procedura per la stesura della Carta di microzonazione sismica (livello 2)	Giuseppe Naso, Fabrizio Bramerini
Procedura per la composizione degli abachi per amplificazioni (livello 2)	Dario Albarello, Tito Sanò, Giacomo Di Pasquale, Giuseppe Naso, Antonio Lucantoni, Floriana Pergalani
Procedura per la definizione delle instabilità di versante (livello 2)	Gabriele Scarascia Mugnozza, Monica Picone, Laura Cavalera
Procedura per la valutazione della possibilità di occorrenza di fenomeni di liquefazione (livello 2)	Teresa Crespellani
Procedura di stima della magnitudo per verifiche nelle zone suscettibili di instabilità	Giacomo Di Pasquale, Tito Sanò
Comportamento dinamico dei terreni	Teresa Crespellani
Frane sismoindotte	Roberto W. Romeo
Pericolo di liquefazione	Diego Lo Presti
Fagliazione di superficie	Paolo Galli
Misure passive del rumore sismico ambientale	Dario Albarello, Marco Mucciarelli
Studio di <i>strong/weak motion</i> per la risposta sismica locale	Giuliano Milana, Antonella Paciello
Simulazioni numeriche	Tito Sanò
Moto di input per simulazioni numeriche	Giuseppe Naso
Valutazione della risposta sismica locale dalla tipologia e dal danno degli edifici rilevati post-sisma	Agostino Goretti, Mauro Dolce
Zonazione sismica e Classificazione sismica dei comuni	Fabrizio Bramerini, Giacomo Di Pasquale
Pianificazione per l'emergenza	Elvezio Galanti, Maria Ioannilli, Antonio Monni, Sabrina Primerano, Massimiliano Severino, Monica Sugan, Antonio Torrisi
Scenari di danno per la pianificazione dell'emergenza	Filomena Papa, Giulio Zuccaro
Modellazione degli effetti di amplificazione negli scenari di danno	Fabrizio Bramerini, Giuseppe Naso
Abachi di riferimento per gli effetti litostratigrafici (livello 2)	Francesco Giordano, Giacomo Di Pasquale, Tito Sanò
Abachi di riferimento per gli effetti topografici (livello 2)	Floriana Pergalani, Massimo Compagnoni
Istruzioni tecniche per l'esecuzione, l'acquisizione dati e la presentazione dei risultati delle indagini geologiche, geofisiche e geotecniche	A cura di Maurizio Ferrini, Massimo Baglione, Vittorio D'Intinosante, Pierangelo Fabbroni (Toscana). Referee: Arnaldo Boscherini (Umbria), Antonio Colombi (Lazio), Rossella Monaco (Molise), Francesco Ponziani (Umbria). I capitoli sulle prove DMT e SDMT sono stati redatti da D. Marchetti, S. Marchetti, P. Monaco e G. Totani.
Dvd	Fabrizio Bramerini, Giacomo Di Pasquale, Giuseppe Naso

1.2 Riferimenti normativi

Legge 2 febbraio 1974, n. 64, Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

Legge 10 dicembre 1981, n. 741, Ulteriori norme per l'accelerazione delle procedure per l'esecuzione di opere pubbliche.

Decreto del Ministro dei lavori pubblici 11 marzo 1988, Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

Legge 24 febbraio 1992, n. 225, Istituzione del Servizio nazionale della protezione civile.

Decreto del Ministro dei lavori pubblici 16 gennaio 1996, Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche.

Decreto del Ministro dell'interno 13 Febbraio 2001, Adozione dei "Criteri di massima per l'organizzazione dei soccorsi sanitari nelle catastrofi" (pubblicati nella G.U. n. 116 del 12 maggio 2001).

Decreto legislativo 31 marzo 1998, n. 112, Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle Regioni ed agli Enti locali, in attuazione del capo I della legge 15 marzo 1997, n. 59.

Decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380, Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia.

Legge 9 novembre 2001, n. 401, Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 7 settembre 2001, n. 343, recante disposizioni urgenti per assicurare il coordinamento operativo delle strutture preposte alle attività di protezione civile.

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003, n. 3274, Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.

Legge 27 luglio 2004, n. 186, Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 28 maggio 2004, n. 136, "Disposizioni urgenti per garantire la funzionalità di taluni settori della pubblica amministrazione. Disposizioni per la rideterminazione di deleghe legislative e altre disposizioni connesse".

Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 12 ottobre 2007, Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni.

Decreto del Ministro delle infrastrutture 14 gennaio 2008, Approvazione delle norme tecniche per le costruzioni.

1.3 Soggetti coinvolti nella predisposizione della microzonazione sismica

Regione: predispone le specifiche di realizzazione degli studi e le modalità di utilizzo.

Soggetto proponente: (Regione, Ente locale): programma, finanzia e incarica i soggetti realizzatori gli studi di MS.

Soggetto realizzatore: (uffici della Regione o dell'Ente locale, professionisti, società di ingegneria, istituti di ricerca): realizza gli studi di MS ed è coordinato dal soggetto proponente.

Soggetto validatore: (uffici della Regione o dell'Ente locale): verifica e controlla che il soggetto realizzatore abbia rispettato le specifiche definite dal soggetto proponente. Può coincidere con il soggetto proponente. È opportuno che non coincida con il soggetto realizzatore.

Progettista⁸ / Progettisti: opera nel rispetto degli indirizzi generali regionali; è responsabile dei dati che assume nel progetto, delle eventuali indagini specifiche, del confronto con la norma nazionale, del controllo della conformità della situazione di progetto con la zona omogenea di riferimento, della motivazione di eventuali scostamenti.

Sportello per il deposito⁹: in funzione delle decisioni regionali controlla la presenza del riferimento allo studio di MS.

Controllore del progetto¹⁰: in funzione delle decisioni regionali, può esaminare la presenza della giustificazione dell'uso della MS in funzione dell'opera e del livello, il corretto riferimento agli elaborati, la coerenza delle assunzioni progettuali con la MS.

8 Dpr 380/2001, art. 64 comma 4: "Il progettista ha la responsabilità diretta della progettazione di tutte le strutture dell'opera comunemente realizzate".

9 Dpr 380/2001, art. 5 comma 1: "Le amministrazioni comunali, nell'ambito della propria autonomia organizzativa, provvedono, anche mediante esercizio in forma associata delle strutture ai sensi del capo V del decreto legislativo 18 agosto 2000, n. 267, ovvero accorpamento, disarticolazione, soppressione di uffici o organi già esistenti, a costituire un ufficio denominato sportello unico per l'edilizia, che cura tutti i rapporti fra il privato, l'amministrazione e, ove occorra, le altre amministrazioni tenute a pronunciarsi in ordine all'intervento edilizio oggetto della richiesta di permesso o di denuncia di inizio attività". Art. 65 comma 4: "Lo sportello unico restituisce al costruttore, all'atto stesso della presentazione, una copia del progetto e della relazione con l'attestazione dell'avvenuto deposito".

10 Dpr 380/2001, art. 93 comma 3: "Il contenuto minimo del progetto è determinato dal competente ufficio tecnico della Regione. In ogni caso il progetto deve essere esauriente per planimetria, piante, prospetti e sezioni ed accompagnato da una relazione tecnica, dal fascicolo dei calcoli delle strutture portanti, sia in fondazione sia in elevazione, e dai disegni dei particolari esecutivi delle strutture". Art. 94 comma 1: "Fermo restando l'obbligo del titolo abilitativo all'intervento edilizio, nelle località sismiche, ad eccezione di quelle a bassa sismicità all'uopo indicate nei decreti di cui all'articolo 83, non si possono iniziare lavori senza preventiva autorizzazione scritta del competente ufficio tecnico della Regione".

1.4 Definizioni

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.)*.

Elementi (o beni) esposti – Ciò che può essere negativamente affetto da un evento sismico e sul quale viene svolta l'analisi di rischio sismico. È identificabile attraverso categorie omogenee e sistemi che possono subire perdite a seguito di evento sismico.

Esempi di categorie e sistemi esposti sono: ambiente, popolazione, attività economiche, servizi pubblici, beni culturali, ecc..

Fenomeni di instabilità del terreno – Modificazioni permanenti del terreno quali fenomeni franosi, fenomeni di liquefazione o densificazione (addensamento), fagliazione superficiale, ecc. dovuti ad un evento sismico.

Microzonazione sismica (MS) – Valutazione della pericolosità sismica locale attraverso l'individuazione di zone del territorio caratterizzate da comportamento sismico omogeneo.

In sostanza la MS individua e caratterizza le zone stabili, le zone stabili suscettibili di amplificazione locale del moto sismico e le zone suscettibili di instabilità.

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*.

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*.

Riduzione del rischio (o mitigazione del rischio) – Azioni intraprese al fine di ridurre le probabilità, le conseguenze negative, o entrambe, associate al rischio (ISO, Guide 73:2002).

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.

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

Vulnerabilità sismica – Propensione al danno o alla perdita di un sistema a seguito di un dato evento sismico. La vulnerabilità viene detta primaria se relativa al danno fisico subito dal sistema per effetto delle azioni dinamiche dell'evento, secondaria se relativa alla perdita subita dal sistema a seguito del danno fisico. Per ogni sistema, la vulnerabilità può essere espressa in maniera diretta attraverso la definizione della distribuzione del livello di danno o di perdita a seguito di un dato scuotimento o in maniera indiretta attraverso indici di vulnerabilità ai quali correlare danno e scuotimento.

La distribuzione del danno apparente agli elementi strutturali o non strutturali di un edificio al variare dello scuotimento sismico fornisce una misura della vulnerabilità primaria. La distribuzione del costo di riparazione di un edificio in relazione al danno apparente o meccanico è una misura di vulnerabilità secondaria.

SIGLE

- CRP** Conferenza delle Regioni e delle Province autonome
- DPC** Dipartimento della protezione civile
- Gdl** Gruppo di lavoro (per gli indirizzi e criteri generali per la microzonazione sismica)
- MS** Microzonazione sismica
- NTC** Norme tecniche per le costruzioni

1.5 Generalità

Ai fini della prevenzione sismica e della valutazione del rischio sismico, la microzonazione sismica è uno strumento molto utile per il governo del territorio, per la progettazione e per la pianificazione per l'emergenza (Figura 1.5-1).

La microzonazione sismica (MS) ha lo scopo di riconoscere ad una scala sufficientemente grande (scala comunale o sub comunale) le condizioni locali che possono modificare sensibilmente le caratteristiche del moto sismico atteso o possono produrre deformazioni permanenti rilevanti per le costruzioni e le infrastrutture.

In sostanza, lo studio di MS viene sintetizzato in una carta del territorio nella quale sono indicate:

- le zone in cui il moto sismico non viene modificato rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e pianeggiante¹¹ e, pertanto, gli scuotimenti attesi sono equiparati a quelli forniti dagli studi di pericolosità di base;
- le zone in cui il moto sismico viene modificato rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e pianeggiante, a causa delle caratteristiche litostratigrafiche del terreno e/o geomorfologiche del territorio;
- le zone in cui sono presenti o suscettibili di attivazione fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazioni, fagliazione superficiale, cedimenti differenziali, ecc.).

I dati, le metodologie e le elaborazioni che conducono ai risultati riportati nella carta sono illustrati in una relazione di accompagnamento.

Lo studio di MS fornisce una base conoscitiva della pericolosità sismica locale delle diverse zone e consente di stabilire gerarchie di pericolosità utili per la programmazione di interventi di riduzione del rischio sismico, a varie scale.

La realizzazione di uno studio di MS è uno strumento conoscitivo dalle diverse potenzialità, che ha costi differenziati in funzione del livello di approfondimento. Al momento di decidere l'esecuzione e il livello dello studio, occorre tener presente l'utilità che da esso può derivare, in modo da compararla con i costi da affrontare. Il miglioramento della conoscenza prodotto dagli studi di MS può contribuire concretamente, insieme a studi di vulnerabilità ed esposizione, all'ottimizzazione delle risorse rese disponibili per interventi mirati alla mitigazione del rischio sismico.

La prima parte di questo documento è costituita dagli **Indirizzi e criteri**, dove vengono descritti i principi e gli elementi per la MS e le modalità di utilizzazione nella pianificazione territoriale, nella pianificazione per l'emergenza e nella progettazione delle opere.

In funzione dei diversi contesti e dei diversi obiettivi gli studi di MS possono essere effettuati a vari livelli di approfondimento, con complessità ed impegno crescenti, passando dal livello 1 fino al livello 3 (capitolo 1.6):

¹¹ Categoria "suolo A" della norma nazionale e dell'Eurocodice 8.

- il livello 1 è un livello propedeutico ai veri e propri studi di MS, in quanto consiste in una raccolta di dati preesistenti, elaborati per suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee rispetto alle fenomenologie sopra descritte;
- il livello 2 introduce l'elemento quantitativo associato alle zone omogenee, utilizzando allo scopo ulteriori e mirate indagini, ove necessarie, e definisce la *Carta di microzonazione sismica*;
- il livello 3 restituisce una *Carta di microzonazione sismica con approfondimenti* su tematiche o aree particolari.

Nella pianificazione territoriale (capitolo 1.7), in funzione delle varie scale e dei vari livelli di intervento, gli studi di MS saranno condotti su quelle aree per le quali le condizioni normative consentono o prevedono l'uso a scopo edificatorio o per infrastrutture, o la loro potenziale trasformazione a tali fini, o prevedono l'uso ai fini di protezione civile.

Gli studi di MS sono di fondamentale importanza nella pianificazione al fine di:

- orientare la scelta di aree per nuovi insediamenti;
- definire gli interventi ammissibili in una data area;
- programmare le indagini e i livelli di approfondimento;
- stabilire orientamenti e modalità di intervento nelle aree urbanizzate;
- definire priorità di intervento.

Nella pianificazione d'emergenza (capitolo 1.8) sia di livello comunale che provinciale, gli studi di MS consentono una migliore e consapevole individuazione degli elementi strategici di un piano di emergenza e in generale delle risorse di protezione civile.

La conoscenza dei possibili effetti locali indotti da un evento sismico su un territorio contribuisce a:

- scegliere aree e strutture di emergenza ed edifici strategici in zone stabili;
- individuare i tratti "critici" delle infrastrutture viarie e di servizio e le opere rilevanti, in caso di collasso, per le quali potrebbero essere necessarie specifiche valutazioni di sicurezza.

Nella progettazione di opere nuove o di interventi su opere esistenti (capitolo 1.9), gli studi di MS evidenziano l'importanza di fenomeni quali le possibili amplificazioni dello scuotimento legate alle caratteristiche litostratigrafiche e morfologiche dell'area e dei fenomeni di instabilità e deformazione permanente attivati dal sisma.

Gli studi di MS, quindi, possono offrire elementi conoscitivi utili per la progettazione di opere, con differente incisività in dipendenza del livello di approfondimento e delle caratteristiche delle opere stesse.

Per opere ordinarie esistenti sulle quali si eseguiranno interventi di modesto impatto potranno in vario modo essere utilizzate alcune informazioni qualitative proprie del livello 1.

Per opere ordinarie di nuova realizzazione i risultati di livello 1 potranno in generale orientare nella scelta degli approfondimenti specifici da effettuare, mentre l'utilizzabilità diretta di risultati di livello 2 dipenderà dalla verifica della rispondenza delle caratteristiche delle zone omogenee con quelle del sito di interesse.

Per le opere strategiche per finalità di protezione civile sarà in generale necessario raggiungere un approfondimento conoscitivo proprio del livello 3.

Nella seconda parte, **Linee guida**, vengono descritte alcune procedure per la predisposizione degli studi di MS. Queste procedure, richiamate negli *Indirizzi e criteri*, rappresentano dei veri e propri strumenti operativi per l'applicazione di alcuni indirizzi e criteri precedentemente espressi. Riguardano sostanzialmente le modalità di predisposizione delle indagini, la stesura della *Carta delle indagini* prevista dai vari livelli di approfondimento degli studi di MS, la stesura delle *Carte delle microzone omogenee in prospettiva sismica* e della *Carta di microzonazione sismica*, la composizione degli abachi per le amplificazioni e le procedure semplificate per le valutazioni quantitative sulle instabilità di versante e il pericolo di liquefazione.

Nella terza parte, **Appendici**, sono raccolte *Schede tecniche*, *Abachi di riferimento*, *Istruzioni tecniche per indagini geologiche, geofisiche e geotecniche*, che assieme al **Glossario** e ad alcuni **Esempi di carte delle microzone omogenee in prospettiva sismica**, rappresentano dei materiali di supporto conoscitivo e di approfondimento per l'applicazione degli indirizzi e criteri e delle linee guida.

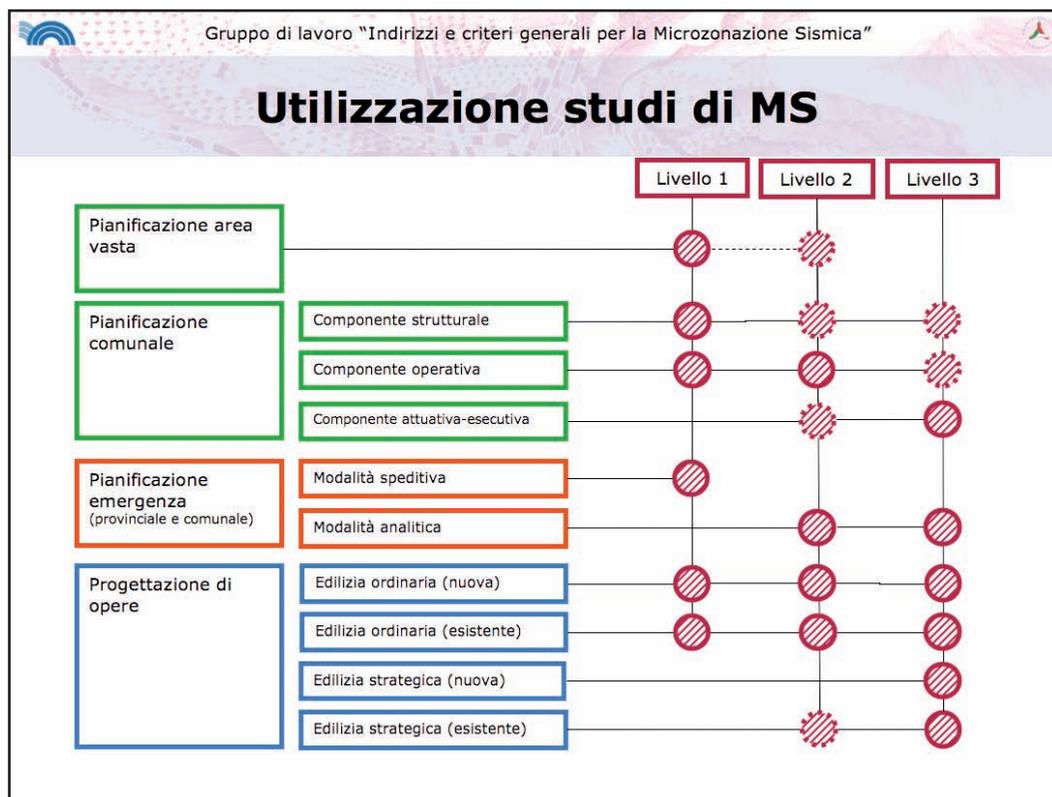


Figura 1.5-1 – Studi di MS e utilizzazione nella pianificazione territoriale, nella pianificazione dell'emergenza e nella progettazione delle opere.

1.6 Principi ed elementi per la microzonazione sismica

1.6.1 GENERALITÀ

Per effettuare gli studi di MS è indispensabile la raccolta, l'archiviazione organizzata di dati pregressi, e, ove necessario, dei dati provenienti da nuove e specifiche indagini.

I dati di base per gli studi di MS fanno parte di varie discipline (geologia, geomorfologia, geologia tecnica, ingegneria geotecnica, geofisica e ingegneria delle strutture) e sono prodotti da varie fonti informative.

Questi dati di base contribuiscono a costruire il modello del sottosuolo, che rappresenta un prodotto di sintesi ed è uno strumento conoscitivo propedeutico alla redazione della carta di MS.

Il modello del sottosuolo è il risultato di un processo iterativo e interattivo volto alla ricostruzione:

- delle unità litologiche superficiali (coperture recenti) e delle loro geometrie;
- del loro grado di fratturazione;
- del loro rapporto con le unità del substrato;
- delle loro caratteristiche geotecniche e geofisiche.

Tale processo, attraverso l'iterazione delle analisi e l'interazione fra le fonti informative deve garantire l'integrazione e la coerenza fra le diverse conoscenze (scheda tecnica 3.1.1).

La finalità degli studi, il livello di approfondimento e la disponibilità economica determinano le condizioni di scelta per l'acquisizione dei dati di base.

Le rappresentazioni cartografiche che contribuiscono alla restituzione dei risultati degli studi di microzonazione individuano:

- zone nelle quali non sono previste significative modifiche dello scuotimento che l'evento sismico causerebbe su terreni rigidi e pianeggianti;
- zone nelle quali lo scuotimento è amplificato;
- zone suscettibili di frane in terreni e in roccia;
- zone suscettibili di liquefazioni;
- zone interessate da faglie attive e capaci;
- zone interessate da cedimenti differenziali.

Scale tipiche di rappresentazione delle carte di MS sono 1:5.000 – 1:10.000. Anche in coerenza con quanto previsto per i database geografici alla media scala a livello nazionale¹², queste rappresentano le scale più appropriate per questo genere di studi. In generale, la scala 1:5.000 è necessaria per aree di studio particolarmente piccole.

12 Intesa Stato Regioni Enti locali per la realizzazione dei sistemi informativi geografici, Protocollo di intesa del 26 settembre 1996 e Accordo integrativo del 12 ottobre 2000. (www.intesagis.it).

1.6.2 DATI DI BASE

1.6.2.1 RACCOLTA E ARCHIVIAZIONE DATI PREGRESSI

In generale, quando si inizia uno studio di MS si hanno a disposizione (o comunque bisogna collazionare e archiviare) dati pregressi ottenuti da indagini effettuate precedentemente allo studio.

È molto importante controllare e archiviare correttamente i dati raccolti, quindi si raccomanda di:

- definire un appropriato sistema informatico di archiviazione e di gestione di dati territoriali anche a livello cartografico (SIT);
- valutare l'affidabilità dei dati;
- definire un sistema di controllo per l'archiviazione dei dati;
- definire un'opportuna modalità di presentazione dei dati pregressi raccolti, per aiutare i decisori nella fase di progettazione di nuove campagne indagini.

1.6.2.2 CAMPAGNA INDAGINI E NUOVI DATI

La densità di dati sufficiente per uno studio dipende dall'omogeneità delle condizioni geologiche, geotecniche e geofisiche.

È necessario segnalare, per quanto possibile (con note ed elementi cartografici), le aree nelle quali permangono livelli di incertezza legati alla rilevazione del dato, alla sua rappresentazione o alla sua interpretazione. In tal modo saranno evidenziate incertezze di tipo geometrico (es. spessori di un'unità litostratigrafica), di tipo fenomenologico (es. frana attiva/quiescente) o di tipo numerico (es. profilo di velocità delle onde S).

I dati di base più importanti, a prescindere dall'approfondimento scelto, sono elencati nei paragrafi successivi, suddivisi per fenomeno da investigare. Per le specifiche tecniche delle indagini si rimanda invece alle Linee guida e alle Appendici.

1.6.2.3 DATI CARTOGRAFICI

Oltre alla cartografia di base (preferibilmente CTR o rilievo aerofotogrammetrico a scala comunale), le cartografie tematiche di riferimento sono: carte geologiche, carte litotecniche, carte geologico-tecniche, carte geomorfologiche, carte di dissesti.

1.6.2.4 DATI DI PERICOLOSITÀ DI BASE

Gli studi di pericolosità di base, generalmente, sono condotti a scala nazionale/regionale da esperti incaricati dai vari soggetti. Questi studi richiedono un'esperienza comprovata nel processamento e nella valutazione di cataloghi di terremoti, di relazioni di attenuazione, di elaborazioni statistiche. I risultati di questi studi sono poi messi a disposizione per l'utilizzo anche a fini della MS, in particolare per la definizione di input sismici di riferimento (in forma spettrale o di accelerogrammi), per valutazioni su amplificazioni locali o su eventuali deformazioni permanenti.

Per quanto riguarda l'uso dei dati di base, delle metodologie e dei risultati, tali studi dovranno rispettare i criteri generali previsti nella normativa nazionale¹³.

¹³ Al momento dell'estensione del presente documento, costituita dalle OPCM 3274/2003, OPCM 3519/2006 e DM 14 gennaio 2008.

1.6.2.5 DATI PER VALUTAZIONI DELLE AMPLIFICAZIONI

Per le valutazioni delle amplificazioni in superficie sono indispensabili dati su:

- pericolosità sismica di base per definire l'input sismico di riferimento;
- morfologia superficiale del sito;
- litostratigrafia del sito con particolare attenzione alla profondità del bedrock sismico (quando individuabile);
- morfologia del bedrock sismico;
- caratterizzazione geotecnica dei terreni e caratterizzazione geomeccanica di ammassi rocciosi fratturati;
- profilo della velocità delle onde S (V_s);
- periodo fondamentale di vibrazione;
- caratterizzazione dei terreni in condizioni dinamiche.

I metodi di indagine raccomandati sono i seguenti:

DATI DI BASE	METODI DI INDAGINE RACCOMANDATI
Input sismico di riferimento	Analisi di pericolosità di base e/o dati strumentali
Morfologia del sito	Modello digitale del terreno, cartografia topografica di dettaglio
Litostratigrafia	Rilevamento geologico, sondaggi
Profondità bedrock sismico e morfologia sepolta	Sondaggi, sezioni geologiche 2D, indagini geofisiche
Falda acquifera	Sondaggi, indagini geoelettriche
Caratterizzazione geotecnica e geomeccanica	Analisi geomeccaniche, prove in sito, prove di laboratorio, correlazioni con SPT e CPT
Profilo V_s	Down-Hole, Cross-Hole, sismica a rifrazione, SASW, MASW, array sismici, correlazioni con proprietà geotecniche
Periodo fondamentale	Misure di microtremori
Caratterizzazione proprietà dinamiche dei terreni	Colonna risonante, taglio torsionale ciclico, taglio semplice ciclico con doppio provino

1.6.2.6 DATI PER VALUTAZIONI DI INSTABILITÀ DI VERSANTE

Per le valutazioni di instabilità di versante sono indispensabili dati su:

- scuotimento in superficie (in genere, in termini di accelerazione massima del suolo, a_g);
- profilo topografico e geometria del versante, inteso come associazione fra topografia e forme geomorfologiche;
- litostratigrafia;
- caratterizzazione geotecnica;
- modello di frana (materiale coinvolto, geometria e profondità della superficie di rottura, cinematismo);
- condizioni idrogeologiche;
- caratteristiche di resistenza a taglio.

I metodi di indagine raccomandati sono i seguenti:

DATI DI BASE	METODI DI INDAGINE RACCOMANDATI
Scuotimento in superficie	Analisi di pericolosità di base e locale e/o dati strumentali
Carta delle pendenze	Rilevamento topografico, modello digitale del terreno, cartografia topografica di dettaglio
Litostratigrafia	Rilevamento geologico, sondaggi
Caratterizzazione geotecnica	Prove standard di laboratorio, correlazioni con SPT e CPT
Modello di frana	Fotointerpretazione, rilevamento geologico e geomorfologica, indagini geotecniche e geofisiche in sito (sondaggi, profili sismici a rifrazione, ...)
Falda acquifera	Sondaggi, indagini piezometriche
Resistenza dei terreni rispetto alla stabilità	Prove standard di laboratorio, correlazioni con prove in sito (SPT e CPT), prove triassiali cicliche, prove di taglio semplice ciclico.

1.6.2.7 DATI PER VALUTAZIONI DELLA SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

Per le valutazioni della suscettibilità alla liquefazione sono indispensabili dati su:

- scuotimento in superficie (in genere, in termini di accelerazione massima del suolo, PGA);
- magnitudo degli eventi attesi;
- litostratigrafia;
- granulometria;
- profondità della falda;
- resistenza dei terreni sotto carico ciclico.

I metodi di indagine raccomandati sono i seguenti:

DATI DI BASE	METODI DI INDAGINE RACCOMANDATI
Scuotimento in superficie	Analisi di pericolosità di base e locale e/o dati strumentali
Magnitudo	Catalogo dei terremoti
Litostratigrafia	Sondaggi
Caratterizzazione granulometria e geotecnica	Prove standard di laboratorio, correlazioni con in sito (SPT e CPT), prove triassiali cicliche, prove di taglio semplice ciclico.
Idrogeologia	Indagini piezometriche
Resistenza dei terreni rispetto alla liquefazione	Prove standard di laboratorio, correlazioni con prove in sito (SPT e CPT), prove triassiali cicliche, prove di taglio semplice ciclico.

1.6.2.8 DATI PER VALUTAZIONI DELLE FAGLIE ATTIVE E CAPACI

Per le valutazioni della faglie attive e capaci sono indispensabili dati su:

- traccia della faglia in superficie;
- litostratigrafia generale e di dettaglio;
- entità delle dislocazioni;
- geometria del piano di faglia in profondità;
- datazioni dei movimenti della faglia.

I metodi di indagine raccomandati sono i seguenti:

DATI DI BASE	METODI DI INDAGINE RACCOMANDATI
Traccia in superficie	Rilevamenti in situ, interpretazione foto aeree
Litostratigrafia	Sondaggi, analisi geotecniche, analisi paleosismologiche
Dislocazioni e rotture per faglia	Analisi paleosismologiche
Andamento faglie in profondità	Analisi paleosismologiche, indagini geofisiche
Datazioni dei movimenti	Radiometria

1.6.2.9 DATI PER VALUTAZIONI DI CEDIMENTI DIFFERENZIALI

Per le valutazioni di cedimenti differenziali sono indispensabili dati su:

- traccia del contatto stratigrafico o tettonico dei terreni a diversa competenza;
- litostratigrafia di dettaglio dei due terreni;
- geometria del piano di contatto in profondità.

I metodi di indagine raccomandati sono i seguenti:

DATI DI BASE	METODI DI INDAGINE RACCOMANDATI
Traccia in superficie	Rilevamenti in situ, interpretazione foto aeree
Litostratigrafia	Sondaggi, prove geotecniche
Geometria del contatto	Indagini geotecniche, geofisiche e sismica a rifrazione

1.6.3 LIVELLI DI APPROFONDIMENTO

Gli studi di MS sono condotti secondo tre livelli di approfondimento.

1.6.3.1 LIVELLO 1 – CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA

Il livello 1 ha per obiettivo l'individuazione delle microzone a comportamento sismico omogeneo su una carta a scala 1:5.000 – 1:10.000.

Il livello 1 costituisce uno studio propedeutico e obbligatorio per affrontare i successivi livelli di approfondimento. I risultati di questo livello possono orientare la scelta del livello successivo di approfondimento (livello 2 e/o livello 3). Solo in alcuni casi particolari i risultati di questo approfondimento possono essere considerati esaustivi e definitivi¹⁴.

Condizione preliminare per la realizzazione di questo livello è la messa a punto di un quadro conoscitivo generale, che riguarda un territorio più vasto rispetto a quello in cui si andranno a effettuare gli studi di MS.

1.6.3.1.1 Carta delle indagini

A seguito della predisposizione del quadro conoscitivo generale verrà realizzata la *Carta delle indagini* per l'area di studio in scala 1:10.000 o superiore.

¹⁴ Per esempio nel caso di substrato geologico affiorante in zona pianeggiante e identificabile come bedrock sismico. Anche in questo caso, comunque, bisognerà analizzare attentamente il contesto geologico, in quanto, in zone apparentemente segnalate come bedrock sismico affiorante, spesso sono presenti condizioni di alterazione superficiale con spessori considerevoli e/o fratturazione particolarmente pervasive.

Generalmente nella *Carta delle indagini* dovranno essere indicati:

- la localizzazione delle indagini pregresse raccolte;
- il tipo di indagini;
- le aree dove si ritiene importante o indispensabile che vengano effettuate ulteriori indagini (si segnalano in questo modo le aree in cui le incertezze sui risultati di questo livello di approfondimento sono maggiori).

Nelle Linee guida [capitolo 2.2] viene riportata una procedura di riferimento per la realizzazione di questa carta.

1.6.3.1.2 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica

Il secondo elaborato previsto in questo livello è la *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica*.

La carta individua le microzone ove, sulla base di osservazioni geologiche e geomorfologiche e della valutazione dei dati litostratigrafici (si sottolinea che si tratta di dati pregressi, già disponibili per l'area), è prevedibile l'occorrenza di diversi tipi di effetti prodotti dall'azione sismica (amplificazioni, instabilità di versante, liquefazione, ecc.).

Le informazioni utilizzabili, oltre alla cartografia di base disponibile, sono:

- a. carta delle indagini, precedentemente prodotta per questo livello;
- b. carte geologiche e geomorfologiche almeno alla scala 1:10.000, preferibilmente di maggiore dettaglio;
- c. carta litotecnica alla scala 1:10.000;
- d. logs litostratigrafici dedotti da dati di sondaggio;
- e. sezioni geolitologiche costruite con dati dedotti da a., b. e c.;
- f. carte di dissesto idrogeologico (es. Progetto IFFI, piani provinciali di dissesto idrogeologico, piani delle Autorità di bacino).

Si sottolinea ancora che, se non si hanno a disposizione questi elaborati di base, non sarà possibile elaborare la *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica*.

In assenza di dati preesistenti che permettano la ricostruzione del quadro litostratigrafico dell'area, dovranno essere eseguite apposite nuove indagini finalizzate a definire la litostratigrafia, le tipologie e gli spessori delle coperture e la profondità del substrato o le aree dove esso affiora.

Questa carta identifica le geometrie di microzone potenzialmente caratterizzate da specifici effetti sismici.

Non è previsto l'utilizzo di un input sismico, né la quantificazione numerica dei diversi effetti.

Le microzone della carta sono classificate in tre categorie:

- A) zone stabili**, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di rilievo di alcuna natura (substrato geologico in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata – pendii con inclinazione inferiore a circa 15°);
- B) zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**, nelle quali sono attese amplificazioni del moto

sismico, come effetto dell'assetto litostratigrafico e morfologico locale;

C) 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

Tra le zone suscettibili di instabilità, in questa trattazione non vengono affrontate le problematiche e le metodologie di valutazione su *tsunami*¹⁵ e *seiche*¹⁶.

Per quanto riguarda i cedimenti differenziali¹⁷, vengono presi in considerazione solo nell'ambito del livello 1, segnalandone l'eventuale localizzazione. Tali tipi di instabilità, in generale, non hanno la stessa importanza degli altri fenomeni. I cedimenti differenziali si verificano limitatamente nelle zone adiacenti i contatti fra formazioni con caratteristiche litologiche e meccaniche molto diverse. Questo tipo di fenomeni è incluso in questa categoria per comodità di rappresentazione.

Una nota particolare merita il tema delle faglie attive e capaci¹⁸. La definizione dell'attività di una faglia attiva e capace deve scaturire da una serie di studi di dettaglio eseguiti da esperti del settore e, solo dopo una validazione tecnico-scientifica, questi studi possono essere messi a disposizione di coloro

15 Si ricorda brevemente che gli effetti di un maremoto lungo le zone costiere si denominano generalmente *tsunami*, con termine giapponese che significa "onda di porto", anche se il fenomeno non ha niente a che fare con le maree (alle quali si riferisce propriamente quel termine). Il maremoto si manifesta come un'onda d'acqua che si muove a grande velocità sulla superficie del mare e può percorrere spazi anche molto vasti, prima di investire una costa e di esaurirsi. Il fenomeno può essere causato da eventi diversi: collasso di isole vulcaniche, grandi frane sottomarine e grandi eruzioni vulcaniche, tutti fenomeni che possono scaricare bruscamente in mare grandi volumi di materiali; ma effetti analoghi vengono provocati anche da improvvisi movimenti del fondo marino associati ad un terremoto. Quando, infatti, il movimento della faglia che provoca il terremoto fa sollevare o abbassare bruscamente un tratto del fondo del mare, l'oscillazione di quest'ultimo provoca, nella massa d'acqua sovrastante, una perturbazione che si manifesta, sulla superficie del mare, come onde molto lunghe, che si propagano con velocità (in mare aperto) tra 500 e 900 km/h. (Tali onde, ovviamente, non vanno confuse con le onde sismiche generate dallo stesso terremoto, che sono molto meno lunghe e viaggiano molto più velocemente).

In pieno oceano la distanza tra le creste di due onde successive di maremoto può arrivare fino a 300 km, mentre l'altezza delle onde in genere non supera il metro. Di conseguenza, in mare aperto il passaggio di un'onda di maremoto può restare del tutto inosservato a chi si trova su una nave, anche se il movimento interessa tutta la colonna d'acqua fra la superficie e il fondo (per confronto, si ricordi che le normali onde oceaniche, prodotte dal vento, interessano solo modesti spessori d'acqua e si muovono al massimo a 90 km/h). Quando si avvicinano alla costa, man mano che la profondità delle acque diminuisce, l'altezza delle onde cresce, la distanza tra le creste diminuisce e alla fine sono ondate gigantesche quelle che si abbattono sulle coste, devastandole in profondità. Se è la depressione tra due onde (ventre) che arriva per prima alla costa, si abbassa improvvisamente il livello del mare, che si ritira verso il largo lasciando emerso un ampio tratto del fondo. Subito dopo arriva la cresta dell'onda e il livello del mare si innalza, formando un'onda alta anche 30 metri, che si rovescia sulla costa travolgendo ogni ostacolo e trascinandolo poi in mare con l'onda di ritorno.

16 Gli studiosi dei bacini lacustri indicano con il termine *seiche* (in italiano "sessa") le notevoli e improvvise variazioni del livello delle acque di un lago che si manifestano come oscillazioni libere. Le *seiche* sono causate da perturbazioni atmosferiche, quali forti venti locali e rapide variazioni locali della pressione barometrica, che provocano la depressione di una parte della superficie del lago e il sollevamento dell'altra, innescando così un'oscillazione ad altilinea che continua poi, decrescendo, anche quando la causa è cessata. Il dislivello della superficie nei grandi laghi arriva a oltre 4 metri. Lo stesso termine è stato applicato alle perturbazioni osservate nel 1755 in numerosi laghi, paludi, canali, e porti europei dopo il sisma di Lisbona (dal Portogallo al Mar Baltico e dalla Scozia alle Alpi). La causa è stata indicata nel passaggio di onde superficiali (in particolare le onde di Rayleigh), anche a grandi distanze dall'epicentro di un terremoto. Nel caso di aree vicine all'epicentro di grandi terremoti, le oscillazioni delle superfici acquose possono avere anche altre origini, quali l'innescò di grandi frane che precipitano sul fondo di un lago, facendo oscillare avanti e indietro le acque, o provocando, eventualmente, un vero *tsunami*. Le strutture geologiche possono influenzare la manifestazione delle oscillazioni di specchi d'acqua: nel terremoto dell'Alaska del 1964, per esempio, nella regione del Golfo del Messico si osservò una notevole concentrazione di *seiche*, probabilmente dovuta a effetti di amplificazione delle onde superficiali nei grossi spessori di sedimenti ivi presenti, mentre nello stesso evento la catena montuosa degli Appalachi sembra aver "assorbito" tali onde, per cui a sud-est della catena si osservarono solo pochi esempi di *seiche*.

17 "Sotto l'effetto delle vibrazioni indotte dal sisma, i terreni granulari asciutti (possono subire) una compattazione volumetrica. Come conseguenza si ha un crescente miglioramento delle caratteristiche dinamiche del terreno (aumento del modulo di taglio e diminuzione del coefficiente di smorzamento), ma anche un abbassamento crescente del livello di superficie del deposito. Quando un tale tipo di terreno si trova a contatto con una roccia o un altro terreno molto competente, che non subisce quindi compattazione, si parla di cedimenti differenziali. Questi cedimenti possono in certi casi raggiungere un'entità tale da arrecare seri danni alle opere sovrastanti. L'importanza di questo fenomeno può essere legata a diversi fattori e, in particolare, alla densità relativa, all'ampiezza della deformazione di taglio, al numero dei cicli di carico e allo stato di sforzo". Crespellani, T., Indagini geotecniche, in Faccioli, E. (a cura di), *Elementi per una guida alle indagini di MS*, Roma, 1986.

18 Per faglia attiva si intende una faglia che si è rotta almeno una volta negli ultimi 40.000 anni (limite inferiore certo delle datazioni radiometriche). Una faglia attiva è detta capace se raggiunge la superficie producendo una frattura del terreno; l'andamento di questa rottura in superficie è la traccia superficiale della faglia.

che si occupano della MS. Si raccomanda quindi che, per il livello 1, nella *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica* si riportino solo le faglie identificate da studi validati da esperti del settore. La microzona omogenea riferita alla faglia attiva e capace sarà costruita in modo da comprendere la traccia superficiale della faglia e i fenomeni deformativi del terreno (rottture secondarie, rigonfiamenti, cedimenti, ecc.) correlati alla rottura principale (scheda tecnica 3.1.4).

Inoltre, nella carta sono rappresentate alcune caratteristiche morfologiche del territorio e, laddove individuabili, forme sepolte che possono contribuire ad eventuali effetti di amplificazione.

Attraverso questo livello, quindi, sarà possibile:

- l'individuazione delle aree a minore pericolosità locale (zone stabili);
- la programmazione di indagini di approfondimento, sulla base delle diverse tipologie di effetti attesi;
- l'individuazione delle aree per le quali sono necessari ulteriori livelli di approfondimento.

Nelle Linee guida (capitolo 2.3) viene riportata una procedura di riferimento per la realizzazione della *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica*.

La carta sarà accompagnata da una relazione con note descrittive che consentano la migliore utilizzazione.

Nelle Appendici sono riportati alcuni esempi di tali carte (capitolo 3.5).

Tabella 1.6-1 - Livello1. Sintesi delle indagini, elaborazioni e prodotti

Indagini	Raccolta dati pregressi: rilievi geologici, geomorfologici, geologico-tecnici e sondaggi
Elaborazioni	Sintesi dei dati e delle cartografie disponibili
Prodotti	<i>Carta delle indagini</i> <i>Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica</i> Relazione illustrativa della carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica

1.6.3.2 LIVELLO 2 – CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA

Il livello 2 si pone due obiettivi da raggiungere in sequenza:

- compensare alcune incertezze del livello 1 con approfondimenti conoscitivi;
- fornire quantificazioni numeriche, con metodi semplificati (abachi e leggi empiriche), della modificazione locale del moto sismico in superficie (zone stabili suscettibili di amplificazioni locali) e dei fenomeni di deformazione permanente (zone suscettibili di instabilità).

Per il raggiungimento di tali obiettivi si possono determinare modificazioni delle geometrie delle zone individuate precedentemente nella *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica*.

1.6.3.2.1 Approfondimenti conoscitivi

Operazione preliminare per la predisposizione del livello 2 è costituita dall'analisi della *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica* (livello 1) al fine di individuare le aree con i maggiori livelli di incertezza e programmare eventuali nuove indagini.

Tale analisi dovrà prendere in considerazione le caratteristiche morfologiche, litostratigrafiche e

geotecniche delle diverse zone e integrarle con i dati geologici, geomorfologici, geologico-tecnici, e geotecnici, già raccolti e valutati.

La localizzazione delle indagini (pregresse e di nuova esecuzione) sarà riportata nella *Carta delle indagini*. In tale carta verranno anche segnalate le aree dove si ritiene più importante la previsione di ulteriori indagini per la predisposizione di un eventuale livello 3, ovvero quelle in cui le incertezze sui risultati di questo livello di approfondimento sono più evidenti.

1.6.3.2.2 Quantificazioni numeriche con metodi semplificati

Il risultato di questo livello è la *Carta di microzonazione sismica*, ottenuta associando una quantificazione numerica degli effetti, con metodi semplificati, alle zone, o a parti di esse, della *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica*.

Le quantificazioni numeriche sotto descritte possono dare origine anche alle seguenti carte, che costituiscono dei risultati intermedi per questo livello di approfondimento:

- Carta delle zone stabili e delle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali caratterizzate da fattori di amplificazione per due periodi dello scuotimento e/o da spettri di risposta;
- Carta delle zone di deformazione permanente, caratterizzate da parametri quantitativi.

La sovrapposizione di queste due carte costituisce la *Carta di microzonazione sismica*.

Con riferimento alle zone definite nel paragrafo 1.6.3.1.2, paragrafo *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica*, vengono descritti di seguito i metodi semplificati di quantificazione numerica.

1.6.3.2.2.1 Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

Le amplificazioni sono quantificate per mezzo di "abachi" che definiscono i fattori di amplificazione degli spettri elastici in superficie, associati alle singole situazioni litostratigrafiche.

Gli abachi saranno predisposti dalle regioni, sulla base di criteri generali comuni, tenendo conto delle peculiarità sismotettoniche e geologiche dei rispettivi territori.

I criteri generali per la composizione e l'uso di abachi sono riportati nelle Linee guida.

Per quanto riguarda la progettazione, il possibile impiego di abachi semplificati in luogo di procedure più complesse (definite nel livello 3), potrà essere preso in considerazione dopo un'attenta valutazione della congruità del modello semplificato adottato per l'uso degli abachi, con l'effettivo assetto geologico, geotecnico e geofisico del sito.

Nelle Linee guida sono riportati alcuni criteri per valutare la validità dei risultati degli abachi in situazioni geologiche, geotecniche e geofisiche complesse.

In appendice sono riportati alcuni abachi di riferimento (capitolo 3.2) che potranno essere utilizzati da parte delle regioni:

- come termine di confronto con abachi preparati dalle stesse regioni;

- in via temporanea, fino a quando non ne avranno predisposti di specifici per il proprio contesto territoriale;
- in via definitiva, avendo valutato l'applicabilità al proprio contesto territoriale;

In alternativa sarà possibile utilizzare la sola metodologia di realizzazione degli abachi¹⁹. Al fine di renderla riproducibile, tale metodologia è riportata in dettaglio nelle Linee guida (capitolo 2.4).

1.6.3.2.2 Zone suscettibili di instabilità

a. Instabilità di versante

Le analisi sono differenziate tra frane che coinvolgono pendii in terreni coerenti ed incoerenti e frane attivabili su pendii impostati su ammassi fratturati.

Si utilizzano metodi semplificati, basati su abachi e relazioni consolidate nella letteratura tecnico-scientifica, che presuppongono schematizzazioni ed assunzioni tali da consentire la stima dell'ordine di grandezza degli spostamenti massimi attesi a seguito di movimenti di versante dovuti al sisma.

Per il primo gruppo (frane in terreni) occorre considerare che la quasi totalità degli eventi è costituita da frane riattivate a seguito dell'azione sismica (frane di seconda generazione). In tali casi la conoscenza della geometria del fenomeno e dei parametri dei materiali, in generale, consente una stima dei massimi spostamenti attesi attraverso analisi dinamiche semplificate basate sul modello di Newmark (1965; vedi capitolo 2.6) e su abachi e relazioni empiriche. Tali relazioni sono valide per definite condizioni geometriche di versante e meccanismi di rottura, e utilizzano il parametro di suscettibilità definito dal coefficiente sismico critico.

Per il secondo gruppo (frane in 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 parametri quali l'angolo d'ombra minimo, ovvero l'angolo di attrito equivalente, nonché su osservazioni di carattere prevalentemente geomorfologico.

Per il primo gruppo, gli spostamenti stimati sono rappresentati per classi di entità di spostamento, mentre per il secondo gruppo sono rappresentate e delimitate le potenziali aree di alimentazione e accumulo.

Si raccomanda di valutare con particolare attenzione l'effetto di fenomeni come le valanghe di detrito che possono interessare sistemi infrastrutturali.

Nelle Linee guida (capitolo 2.6) viene riportata una procedura di riferimento per l'applicazione dei metodi sopra descritti.

b. Liquefazione

La liquefazione è un fenomeno che interessa i depositi sabbiosi saturi per effetto di un rapido e significativo aumento della pressione interstiziale. In tali condizioni i terreni sabbiosi non-cementati attingono valori nulli o estremamente modesti della resistenza al taglio trasformandosi di fatto in un liquido pesante. L'aumento della pressione interstiziale può essere indotto da fenomeni di filtrazione o da un forte evento sismico.

Per condurre a liquefazione un terreno suscettibile alla liquefazione è necessaria l'occorrenza di un

¹⁹ È importante che gli abachi siano definiti per una casistica di condizioni almeno paragonabili a quelle di norma o ancor meglio razionalizzate.

forte sisma. In termini di accelerazione di picco su roccia (a_g), i fenomeni di liquefazione completa si hanno solitamente per terremoti con $a_g > 0.15$.

L'occorrenza della liquefazione ha effetti in superficie solamente in particolari condizioni. Nel caso di terreno pianeggiante, gli effetti in superficie sono trascurabili se lo spessore dello strato più superficiale non liquefacibile è maggiore dello spessore dello strato sottostante liquefacibile.

Un aspetto rilevante del fenomeno della liquefazione è la modifica del moto sismico. In generale il verificarsi della liquefazione comporta un decremento delle ampiezze di vibrazioni ed un taglio delle frequenze più elevate. RegISTRAZIONI accelerometriche in siti liquefatti mostrano (a seguito del fenomeno) ampiezze ridotte e periodo predominante di alcuni secondi. I due aspetti associati (accelerazioni modeste e periodi lunghi) possono comportare spostamenti comunque rilevanti e quindi un potenziale di danno non necessariamente ridotto.

Anche per il fenomeno della liquefazione a seguito di evento sismico vengono utilizzati metodi semplificati. 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 come definito nel paragrafo 2.7.1.3.

Se è:

$0 < I_L \leq 5$ il rischio di liquefazione è basso

$5 < I_L \leq 15$ il rischio di liquefazione è elevato

$I_L > 15$ il rischio di liquefazione è estremamente elevato

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 dell'indice del potenziale di liquefazione I_L .

Nel caso in cui i terreni risultino liquefacibili o suscettibili di significativi incrementi delle pressioni interstiziali durante l'evento sismico di riferimento, devono essere valutati gli effetti in termini di cedimenti permanenti post-sismici.

La metodologia di calcolo è riportata nelle Linee guida (capitolo 2.7).

c. Faglie attive e capaci

Non è richiesto in questo livello alcun ulteriore studio che è invece rimandato al livello superiore di approfondimento.

d. Cedimenti differenziali

Non è richiesto in questo livello alcun ulteriore studio che è invece rimandato al livello superiore di approfondimento.

Nelle Linee guida (capitolo 2.4) viene riportata una procedura di riferimento per la realizzazione della *Carta di microzonazione sismica*. La carta sarà accompagnata da una relazione con note descrittive che consentano la migliore utilizzazione.

Tabella 1.6-2 - Livello2. Sintesi delle indagini, elaborazioni e prodotti

Indagini	Indagini geofisiche in foro del tipo DH o CH, cono sismico, sismica a rifrazione, analisi con tecniche attive e passive della dispersione delle onde superficiali per la stima di V_s , microtremori ed eventi sismici.
Elaborazioni	Correlazioni e confronto con i risultati del livello 1, revisione del modello geologico, abachi per i fattori di amplificazione, abachi e formule empiriche per le instabilità di versante e per la liquefazione.
Prodotti	<i>Carta delle indagini</i> <i>Carta di microzonazione sismica</i> Relazione illustrativa della <i>Carta di microzonazione sismica</i> .

1.6.3.3 LIVELLO 3 - CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA CON APPROFONDIMENTI

Il terzo livello di approfondimento si applica:

- nelle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, nei casi di situazioni geologiche e geotecniche complesse, non risolvibili con l'uso degli abachi, o qualora l'estensione della zona in studio renda conveniente un'analisi globale di dettaglio o, infine, per opere di particolare importanza;
- nelle zone suscettibili di instabilità particolarmente gravose per complessità del fenomeno e/o diffusione areale, non risolvibili con l'uso di metodologie speditive.

I risultati di questo livello potranno, limitatamente alle aree studiate con approfondimenti, modificare la *Carta di microzonazione sismica*.

Sulla base di quanto definito nel livello 1 e nel livello 2, sarà predisposto un programma delle prove da effettuare nelle zone precedentemente individuate.

Il programma delle prove deve essere commisurato alla specificità del caso. Il tipo e il numero delle prove dovranno essere adeguatamente descritti e dovranno essere utilizzate tecniche di prova di riconosciuta affidabilità.

A corredo devono essere prodotti anche i risultati delle prove per la definizione del modello geologico e geotecnico del sottosuolo.

Qualora gli strumenti di pianificazione consentano la realizzazione di interventi nelle zone suscettibili di instabilità dovranno essere forniti elaborati di quantificazione dei potenziali effetti attesi. Tali valutazioni dovranno essere supportate da indagini sperimentali in sito e in laboratorio e dovranno essere condotte in conformità ai principi e ai metodi della geologia tecnica e dell'ingegneria geotecnica sismica.

Nella relazione illustrativa della *Carta di microzonazione sismica con approfondimenti* dovranno essere descritti in dettaglio i procedimenti e i codici di calcolo utilizzati e i risultati delle prove sperimentali in sito e in laboratorio.

Le indagini sono costituite da campagne di acquisizione di dati sismometrici, sondaggi, prove in foro e in superficie per la determinazione delle V_s , prove geotecniche in sito e in laboratorio, sia statiche che dinamiche, campagne di microtremori.

Le elaborazioni sono costituite da analisi numeriche 1D e 2D per la quantificazione delle amplificazioni locali e analisi dinamiche per i casi di instabilità di versante e suscettibilità di liquefazione. È tipico di questo livello lo studio paleosismologico delle faglie attive e capaci.

Il programma delle prove verrà riportato nella *Carta delle indagini*, nella quale saranno indicate:

- la localizzazione delle indagini pregresse;
- la localizzazione e il tipo delle nuove indagini espletate per definire questo livello di approfondimento.

A conclusione delle attività sarà predisposto un aggiornamento della *Carta di microzonazione sismica*, con gli approfondimenti effettuati.

Tali approfondimenti dovranno essere documentati nella Relazione illustrativa allegata.

Tabella 1.6-3 - Livello3. Sintesi delle indagini, elaborazioni e prodotti

Indagini	Campagne di acquisizione dati sismometrici, sondaggi, prove in foro e in superficie per la determinazione del profilo di V_p sismica a rifrazione, prove geotecniche in sito e di laboratorio, microtremiti.
Elaborazioni	Analisi numeriche 1D e 2D per amplificazioni, analisi dinamiche complete per la stima delle deformazioni permanenti.
Prodotti	<i>Carta delle indagini</i> <i>Carta di microzonazione sismica con approfondimenti</i> Relazione illustrativa della Carta di microzonazione sismica con approfondimenti.

1.6.4 MODALITÀ DI PRESENTAZIONE DEI DATI, DELLE METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E DEI RISULTATI

I seguenti criteri per le modalità di presentazione dei dati, delle metodologie di elaborazione e dei risultati sono finalizzati a:

- rendere confrontabili tutti gli studi di MS di aree diverse;
- facilitare il controllo e la validazione da parte dei soggetti competenti;
- facilitare l'uso degli studi e l'individuazione di riferimenti bibliografici per il progettista e il pianificatore.

Le relazioni che riportano gli studi hanno la seguente struttura, con contenuti differenziati in funzione del livello di approfondimento:

CAPITOLO	CONTENUTI
1. Introduzione	Finalità degli studi, descrizione generale dell'area, definizione della cartografia di base, foto aeree, immagini da satellite, elenco archivi consultati.
2. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento	Metodologia di calcolo, sismicità storica, carte di pericolosità di base, eventuali registrazioni accelerometriche, faglie attive. Questo capitolo è scritto tenendo conto dei dati di base, delle metodologie e dei risultati degli studi messi a disposizione dalle Regioni o dagli enti o Istituti delegati.
3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area	Caratteristiche litostratigrafiche, assetto geologico strutturale, assetto geomorfologico, sezioni geologiche e relative cartografie.
4. Dati geotecnici e geofisici	Parametri geotecnici statici e dinamici, unità geotecniche e geofisiche. Specificazione dei dati pregressi e di quelli realizzati ex novo.
5. Modello del sottosuolo	Integrazione tra i dati raccolti.
6. Interpretazioni e incertezze	Identificazione delle fonti dei dati, rappresentatività e incertezze, punti forti e deboli, programmazione per future indagini.

CAPITOLO	CONTENUTI
7. Metodologie di elaborazione e risultati	Elaborazione dei dati di base per: amplificazioni; instabilità di versante; liquefazioni; stima di cedimenti differenziali; faglie attive e capaci.
8. Elaborati cartografici: <i>Carta delle indagini;</i> <i>Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica;</i> <i>Carta di microzonazione sismica.</i>	Modalità di realizzazione delle carte, grado di attendibilità dei risultati e incertezze. Per le Regioni che richiederanno confronti con la normativa nazionale, discussione sui risultati per questo tema.
9. Confronto con la distribuzione di danni per eventi passati	Se disponibili, confronti con la distribuzione di danni per eventi passati, note sulla vulnerabilità delle strutture coinvolte.
10. Bibliografia	
11. Allegati	

1.6.5 MODALITÀ DI VALIDAZIONE DEGLI STUDI DI MS

Gli studi di MS devono essere validati prima della loro adozione da un soggetto con competenze multidisciplinari adeguate per verificare il rispetto dei requisiti dettati dagli indirizzi e criteri adottati dalla Regione/Provincia.

Il soggetto validatore è individuato da parte della regione, in coerenza con l'attribuzione di funzioni nei settori della pianificazione e di controllo sull'applicazione della normativa tecnica.

Nel caso in cui il soggetto validatore non possa assolvere tale compito con i propri uffici tecnici, viene individuato un soggetto esterno.

Al fine di garantire l'uniformità dei risultati e l'omogeneizzazione dei dati di MS per i comuni localizzati al confine fra regioni, è opportuno che le regioni interessate definiscano sedi e modalità di confronto.

1.6.6 MODALITÀ DI AGGIORNAMENTO DEI DATI E DEI RISULTATI

Gli studi di MS necessitano di aggiornamenti, tenendo anche conto del miglioramento delle tecnologie di indagine, per le seguenti circostanze:

- a seguito di un evento sismico, sulla base delle analisi sulla distribuzione dei danni (scheda tecnica 3.1.9);
- a seguito di importanti campagne di acquisizione dati (es. costruzione di opere strategiche);
- a seguito di nuove determinanti scelte strategiche o di localizzazione nella pianificazione territoriale e urbanistica o nella pianificazione per l'emergenza.

Poiché gli studi di MS richiedono l'acquisizione dei dati già disponibili è necessario che Regioni ed Enti locali mantengano sempre aggiornate le banche dati; gli stessi studi di MS, poiché prevedono l'analisi critica dei dati pregressi e l'esecuzione di nuove indagini, devono costituire occasione di aggiornamento dei database informatici.

1.7 Pianificazione territoriale e urbanistica

1.7.1 GENERALITÀ

Nell'ambito della pianificazione territoriale e urbanistica, gli studi di MS integrano la conoscenza delle componenti che determinano il rischio sismico, nonché forniscono alcuni criteri di scelta finalizzati alla prevenzione e alla riduzione dello stesso, secondo un approccio graduale e programmatico alle varie scale e ai vari livelli di pianificazione.

A scala urbana, l'identificazione della pericolosità sismica locale, associata alla conoscenza dei diversi livelli di vulnerabilità degli elementi e dei sistemi esposti, è determinante per la valutazione delle aree a rischio e, quindi, per introdurre elementi di sicurezza come fattori chiave per lo sviluppo e per le scelte localizzative.

Gli studi di MS trovano applicazione ai vari livelli territoriali cui corrispondono diversi livelli di pianificazione identificati, per gli scopi dei presenti Indirizzi e criteri nel modo seguente:

- pianificazione di area vasta (piani provinciali e altri piani territoriali);
- pianificazione comunale (nelle diverse componenti strutturale, operativa e attuativa-esecutiva, come descritte nei paragrafi seguenti).

1.7.2 PIANIFICAZIONE DI AREA VASTA (PIANI PROVINCIALI E ALTRI PIANI TERRITORIALI)

1.7.2.1 OBIETTIVI

Nel settore specifico del rischio sismico la pianificazione di area vasta:

- recepisce gli obiettivi di riduzione del rischio sismico se definiti a livello regionale e nazionale;
- assume ed esplicita, per l'ambito territoriale di competenza, metodologie e procedure definite dalla normativa regionale;
- individua ambiti prioritari di intervento e di indagine, nonché i livelli di approfondimento necessari, anche in funzione della programmazione delle risorse;
- concorre alla definizione del quadro conoscitivo del territorio.

1.7.2.2 LIVELLO CONOSCITIVO DEGLI STUDI DI MICROZONAZIONE

Per il livello territoriale di area vasta la predisposizione degli studi di livello 1, pur avendo delle forti limitazioni per l'assenza di informazioni quantitative, se realizzata in modo estensivo, è da considerarsi strategica per le politiche di riduzione del rischio a scala nazionale.

Il livello territoriale provinciale è generalmente quello ottimale per garantire, attraverso la realizzazione degli studi di livello 1, una base conoscitiva omogenea, che è possibile far corrispondere ai livelli di pianificazione d'area vasta propri del territorio provinciale stesso.

Gli studi di livello 1 rappresentano comunque la condizione conoscitiva di base per tutti i comuni classificati nelle zone a sismicità alta (zona 1), media (zona 2), bassa (zona 3) ed, eventualmente, molto bassa (zona 4), indipendentemente dall'iniziativa in tal senso dei livelli territoriali superiori. Per i comuni classificati in zona 4 gli studi di livello 1 rappresentano una condizione conoscitiva di base nel caso in cui la Regione abbia imposto l'applicazione della normativa antisismica o l'adozione di obiettivi di

riduzione del rischio sismico anche in tali comuni²⁰ (vedi Scheda tecnica Zonazione sismica e Classificazione sismica dei comuni). Questi studi vanno effettuati tenendo conto della necessità di limitare l'indagine e di definire priorità in funzione dei criteri di seguito approfonditi.

In linea generale è da evitare l'estensione all'intero territorio di questi studi, in quanto tali indagini possono comportare costi e tempi non giustificati in termini di benefici collettivi. A tal fine sono individuate le categorie di aree da escludere dall'indagine ("aree escluse").

Le categorie di aree escluse possono essere definite come quelle aree per le quali le condizioni contestuali o normative non consentono o non prevedono le trasformazioni insediative o infrastrutturali. Ad una prima ricognizione e a titolo esemplificativo tali categorie di aree possono essere identificate come le aree a vario titolo escluse da trasformazioni insediative per la sussistenza di provvedimenti e normative di tutela fortemente limitativi delle trasformabilità dell'area. Le Regioni individuano, in funzione dei rispettivi contesti territoriali e normativi, le categorie di aree escluse al cui interno la predisposizione degli studi di livello 1, se rappresenta un onere per la comunità, è da ritenersi impropria. Le Province, anche con la collaborazione e il contributo dei Comuni, specificano e localizzano sul territorio le aree corrispondenti alle categorie indicate dalle Regioni.

1.7.2.3 MODALITÀ DI UTILIZZO DEGLI STUDI

Gli studi di livello 1, oltre a contribuire alla formazione delle scelte di livello sovracomunale, concorrono a definire una base conoscitiva utile per la pianificazione di livello comunale.

La predisposizione della *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica* (livello 1) trova quindi applicazione nella pianificazione di area vasta al fine di:

- prevedere eventuali indagini di approfondimento e le loro modalità di utilizzazione;
- orientare e verificare le scelte pianificatorie e le localizzazioni di rilievo sovracomunale;
- orientare la localizzazione degli elementi primari di carattere operativo, logistico e infrastrutturale in coerenza con quanto eventualmente previsto nella pianificazione d'emergenza;
- fornire alla pianificazione comunale una carta conoscitiva del proprio territorio da utilizzare nel processo di formazione dei piani.
- integrare gli studi di pericolosità con gli altri ambiti conoscitivi propri delle analisi di rischio sismico.

Qualora per la pianificazione di area vasta siano previste valutazioni multicriteriali, valutazioni strategiche dei piani o procedure simili (VAS o altro), al loro interno saranno organicamente incluse anche valutazioni di pericolosità sismica locale che tengano conto degli studi di livello 1. Nel caso siano previste valutazioni specifiche di rischio sismico, gli eventuali indicatori della pericolosità sismica utilizzati dovranno essere integrati, coerenti e omogenei con quelli relativi all'esposizione e alla vulnerabilità. La *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica* potrà essere sintetizzata, ai fini della pianificazione, secondo il seguente schema:

²⁰ Si fa riferimento alla vigente classificazione sismica dei comuni prevista dall'OPCM 3274/2003, specificamente definita in funzione dell'applicazione della normativa tecnica. Ad obiettivi di riduzione del rischio sismico, di definizione di priorità e piani di intervento, dovranno corrispondere criteri di classificazione dei comuni coerenti con tali obiettivi.

ZONE	INDICAZIONE SULLE POSSIBILITÀ/MODALITÀ DI TRASFORMAZIONE PER LA PIANIFICAZIONE LOCALE E DI APPROFONDIMENTO DEGLI STUDI
AREE ESCLUSE DA STUDI DI MS	Aree sulle quali è da evitare l'estensione degli studi di MS.
MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA	
1. Zone stabili	Non sono indispensabili approfondimenti conoscitivi.
2. Zone stabili suscettibili di amplificazione	Eventuali prescrizioni di approfondimenti conoscitivi (livello 2 e livello 3) anche in funzione delle diverse possibili scelte localizzative. Individuazione dei soggetti realizzatori degli approfondimenti conoscitivi.
3. Zone suscettibili di instabilità	Eventuali prescrizioni di approfondimenti conoscitivi (livello 2 e livello 3) anche in funzione delle diverse possibili scelte localizzative. Individuazione dei soggetti realizzatori degli approfondimenti conoscitivi. Nel caso in cui le aree interessate da tali fenomeni riguardino insediamenti esistenti, queste dovranno rientrare in linee prioritarie di approfondimento (studi di livello 2 e livello 3, associati a valutazioni di rischio di livello opportuno) e di intervento.
3.a Instabilità di versante 3.b Faglie attive e capaci	Eventuali indicazioni di esclusione dalle nuove previsioni insediative. A meno che siano effettuate analisi di dettaglio, comprensive di studi settoriali, urbanistici e di analisi del rischio sismico, estese all'intero contesto territoriale che dimostrino l'impossibilità di prevedere localizzazioni alternative. Eventuali indicazioni di esclusione di realizzazione di nuove opere infrastrutturali. A meno che siano effettuati approfondimenti specifici, valutazioni ed opere necessari a garantire la sicurezza e la durabilità delle costruzioni a livello di progettazione di singoli interventi.
3.c Liquefazioni 3.d Cedimenti differenziali	Nessuna ulteriore prescrizione (oltre a quelle per le zone suscettibili di instabilità).

1.7.3 PIANIFICAZIONE COMUNALE

1.7.3.1 GENERALITÀ

Nel settore specifico del rischio sismico la pianificazione comunale:

- assume gli studi di MS per la definizione del quadro conoscitivo del territorio comunale;
- definisce obiettivi di riduzione del rischio sismico e integra gli obiettivi e indirizzi eventualmente definiti a livello regionale e provinciale;
- individua ambiti prioritari di intervento e di indagine, nonché i livelli di approfondimento necessari, in considerazione delle scelte di piano e anche in funzione della programmazione delle risorse.

Al di là delle specificità dei diversi contesti normativi regionali, per gli scopi di cui ai presenti Indirizzi e criteri è possibile articolare i contenuti della pianificazione comunale in:

- componente strutturale
- componente operativa
- componente attuativa-esecutiva

Una possibile corrispondenza fra struttura dei contenuti della pianificazione comunale e strumenti urbanistici previsti nelle singole Regioni è riportata nella Tabella 1.7-1.

1.7.3.2 COMPONENTE STRUTTURALE

Viene individuata come componente strutturale del piano comunale quella in cui sono definiti:

- le diverse invarianti storico-culturali, ambientali, infrastrutturali e insediative esistenti e di progetto;
- le strategie e gli obiettivi generali di trasformazione;
- gli obiettivi specifici e le politiche di intervento;
- le modalità e gli ambiti di trasformazione;
- le priorità e le fasi del processo di pianificazione al cui interno siano da condurre gli approfondimenti conoscitivi.

Nella componente strutturale del piano comunale vengono recepite e integrate le priorità in ordine alla mitigazione del rischio sismico, le limitazioni legate alle zone suscettibili di instabilità e le indicazioni riguardanti

gli approfondimenti conoscitivi, contenute in documenti o strumenti di pianificazione di area vasta (piano provinciale o altri piani territoriali) ove esistenti.

Nella componente strutturale vengono date indicazioni sui soggetti responsabili e le procedure per la realizzazione degli studi di MS ai vari livelli di approfondimento.

I Comuni acquisiscono la *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica* (livello 1) predisposta dagli enti di livello territoriale superiore, o, in assenza, autonomamente se ne dotano.

I dati della *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica* costituiscono contenuto specifico della componente strutturale del piano ed elemento fondamentale per la valutazione e costruzione delle scelte.

Se a seguito di prove ed analisi specifiche (studi di livello 2 o livello 3) si evidenziano variazioni sostanziali della *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica*, queste variazioni saranno tenute in conto nella definizione delle trasformazioni urbanistiche e concorreranno ad aggiornare il quadro conoscitivo. Le Regioni definiscono il rapporto tra variazione della *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica* e le necessità di adeguamento delle modalità previste per le trasformazioni urbanistiche, anche con l'eventuale ricorso a varianti ai piani strutturali.

Costituisce parte integrante della componente strutturale l'individuazione delle relazioni fra categorie di intervento, applicazione delle norme antisismiche e utilizzazione degli studi di MS, eventualmente sulla base di linee guida fornite dalle Regioni o dalle Province.

Tenendo conto delle specificità normative regionali, del contesto pianificatorio e socio-culturale, della fase di definizione della componente strutturale del piano (se in prima redazione o in variante generale o parziale), gli studi di MS, in linea generale, possono concorrere alla definizione, tra gli altri, dei seguenti contenuti, intesi come singoli o integrati tra loro:

- strategie urbanistiche generali e/o settoriali, anche articolate in scelte localizzative specifiche ed eventualmente comprendenti obiettivi espliciti di riduzione del rischio sismico;
- politiche, azioni e interventi specifici di riduzione del rischio sismico, eventualmente traducibili anche in scelte localizzative;
- scelte localizzative specifiche.

1.7.3.2.1 Strategie urbanistiche

Per la predisposizione del piano e la definizione delle strategie devono essere effettuate analisi conoscitive e valutazioni per definire priorità, programmi, localizzazioni e interventi. Nelle analisi e nelle valutazioni saranno incluse quelle relative al rischio sismico, sviluppate utilizzando le analisi della pericolosità di base e gli studi di MS. Tali valutazioni possono essere rinviate alla valutazione ambientale strategica (VAS) o ad altri metodi di valutazioni (multicriteria, costi-benefici, ecc.) previsti dalla normativa regionale ed effettuate dall'amministrazione locale.

Il livello appropriato di MS da utilizzare per la definizione delle strategie è rappresentato in generale dalla *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica*; tuttavia, nel caso in cui si scelgano livelli di approfondimento per la valutazione complessiva del rischio più dettagliati (ad esempio per studi di vulnerabilità ed esposizione), il livello appropriato di MS sarà scelto in coerenza con il grado di dettaglio adottato per gli altri studi.

In sintesi l'uso della *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica* ha lo scopo di indirizzare le scelte pianificatorie e le relative localizzazioni:

- orientando la scelta di aree di nuova previsione;
- definendo gli interventi ammissibili in una data area e le relative modalità;
- orientando la localizzazione degli elementi primari di carattere operativo, logistico e infrastrutturale anche in coerenza con quanto eventualmente previsto nella pianificazione d'emergenza;
- predisponendo eventuali programmi di indagini di approfondimento.

La *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica* trova applicazione nel determinare procedure per la componente operativa e la componente attuativa-esecutiva (paragrafi 1.7.3.3 e 1.7.3.4).

A questo proposito, fermo restando quanto di seguito indicato per la componente operativa e per la componente attuativa-esecutiva, nella componente strutturale del piano si forniscono indicazioni per definire le categorie di aree nelle quali sia necessario disporre di approfondimenti di MS di dettaglio (livello 2 o livello 3), anche a seconda delle categorie di intervento diretto previste. L'individuazione di questi casi può essere effettuata anche sulla base di criteri o linee guida eventualmente definiti dalle Regioni o dalle Province.

1.7.3.2.2 Politiche specifiche di riduzione del rischio sismico

Sono riconducibili a questo caso le valutazioni finalizzate all'individuazione di politiche e azioni specifiche per la prevenzione sismica, come, ad esempio:

- la definizione di priorità di intervento per la mitigazione del rischio in zone edificate;
- l'individuazione dei sistemi urbani per la valutazione della risposta urbana al sisma, il superamento dell'emergenza e l'avvio della fase di ripresa dopo l'evento sismico (studi di individuazione della struttura urbana minima - SUM);
- l'individuazione di aree ad alta esposizione e vulnerabilità al fine della minimizzazione del rischio.

Anche in questo caso, la *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica* può essere considerata il livello conoscitivo minimo necessario. Tuttavia, nel caso dell'assunzione di livelli di approfondimento della vulnerabilità e dell'esposizione più approfonditi, il livello degli studi di MS necessario può essere differenziato e deve essere reso coerente con essi.

La predisposizione della *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica* può, al limite, essere circoscritta alle sole aree definite oggetto della politica di intervento.

1.7.3.2.3 Scelte localizzative

Nel caso in cui l'approccio prevalente del piano sia basato sulla definizione di scelte localizzative (per esempio quella di nuovi interventi di espansione o di infrastrutture) il livello degli studi di MS deve essere scelto in coerenza con le valutazioni che si ritiene debbano essere effettuate. Se si opta per effettuare le scelte sulla base di analisi di tipo quantitativo, è necessario il livello di approfondimento pari almeno a quello definibile attraverso la *Carta di microzonazione sismica* (livello 2).

1.7.3.3 COMPONENTE OPERATIVA

La componente operativa, con riferimento alla mitigazione del rischio sismico, recepisce ed integra quanto definito nella componente strutturale, ed in particolare:

- le strategie e le valutazioni definite con le analisi di rischio;
- le politiche di piano specifiche finalizzate alla prevenzione sismica;
- le scelte localizzative per nuovi insediamenti e infrastrutture.

1.7.3.3.1 Recepimento e integrazione delle strategie urbanistiche

Nella componente operativa, basandosi sulle analisi di rischio sismico definite nella componente strutturale, vengono recepite le scelte in merito:

- alle aree di nuova previsione;
- agli interventi ammissibili nelle singole aree e alle loro modalità;
- alle modalità di intervento nelle aree già urbanizzate;
- ai contenuti prescrittivi con particolare riferimento alle zone la cui trasformabilità è limitata da condizioni di instabilità così come evidenziato nella *Carta della microzone omogenee in prospettiva sismica*.

In funzione delle strategie definite, nella componente operativa saranno individuate:

- le regole e le prescrizioni finalizzate alla riduzione del rischio per i singoli ambiti e le aree di nuova previsione individuati;
- le aree e gli edifici ad elevato rischio che richiedono indagini specifiche, modalità specifiche di manutenzione o di intervento;
- le priorità di intervento per edifici strategici e rilevanti.

A tal fine sono realizzati i programmi di indagini di approfondimento per le singole zone previsti dalla componente strutturale sulla base di quanto indicato in quest'ultima e vengono definiti i soggetti responsabili e le procedure per la realizzazione di questi approfondimenti in fase attuativa.

Per la definizione delle regole e delle prescrizioni per ambiti ed aree di nuova previsione è bene evidenziare che:

- nelle aree da urbanizzare comprese nelle zone suscettibili di amplificazione della *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica*, la definizione di parametri qualitativo-prestazionali richiede elementi conoscitivi propri della *Carta di microzonazione sismica* (livello 2) e nelle zone suscettibili di instabilità sono necessari gli approfondimenti previsti nella componente strutturale;
- nelle aree destinate all'attività agricola, o in altre aree ricadenti nelle aree escluse dalla analisi della *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica*, per gli interventi riguardanti gli edifici esistenti o di nuova edificazione vale quanto stabilito per la progettazione di opere (capitolo 1.9).

Per l'individuazione delle aree e degli edifici ad elevato rischio si possono verificare diverse condizioni:

- l'elevato rischio è dovuto alla presenza di elevata pericolosità sismica locale, per esempio perché si è in presenza di zone suscettibili di instabilità già rilevate attraverso la *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica*: in questo caso attraverso la componente operativa dovranno essere predisposte le ulteriori indagini e le procedure di intervento;
- l'elevato rischio è dovuto prevalentemente alla elevata esposizione o all'elevata vulnerabilità dei beni esposti: in questo caso, attraverso la componente operativa dovranno essere verificate le condizioni per una diminuzione dei livelli di esposizione e dovranno essere definite le procedure, i programmi e i soggetti responsabili per le ulteriori attività di indagine finalizzate alla valutazione in dettaglio della vulnerabilità e dei conseguenti interventi per la sua riduzione.

Per la definizione delle priorità di intervento per edifici strategici e rilevanti sarà necessario che, in modo omogeneo, siano presenti almeno i livelli informativi riferiti alla *Carta di microzonazione sismica* (livello 2) e delle schede di sintesi delle verifiche sismiche²¹.

I successivi piani di intervento per adeguamento e miglioramento dovranno tener conto delle indicazioni di applicazione della normativa antisismica riportate nel capitolo 1.9.

1.7.3.3.2 Recepimento delle politiche specifiche di riduzione del rischio sismico

Per quanto riguarda le politiche di prevenzione sismica si evidenzia che la componente operativa può diventare strumento specifico di mitigazione del rischio sismico, nell'ambito della più generale finalità di controllo della qualità urbana e territoriale definita attraverso la componente strutturale.

In tal senso la componente operativa può introdurre specifici obiettivi di prevenzione sismica (priorità di intervento per la mitigazione del rischio in zone edificate; individuazione dei sistemi urbani per la valutazione della risposta urbana al sisma, per il superamento dell'emergenza e per l'avvio della fase di ripresa dopo l'evento sismico; individuazione di aree ad alta esposizione e vulnerabilità al fine della minimizzazione del rischio) concorrendo al perseguimento degli obiettivi dichiarati dalla componente strutturale, attraverso la messa a fuoco e l'esplicitazione delle modalità per il loro raggiungimento.

1.7.3.3.3 Recepimento delle scelte localizzative

La componente operativa, recependo le indicazioni della componente strutturale relative alle localizzazioni, le definisce in dettaglio, se ricadenti in zone suscettibili di amplificazione o in zone suscettibili di instabilità nella *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica*, utilizzando la *Carta di microzonazione sismica* (livello 2) o gli approfondimenti di cui al livello 3, e ne specifica i limiti territoriali e i comportamenti da tenersi in relazione alla pericolosità.

Nella componente operativa, se non già definito attraverso la componente strutturale, vengono definite tipologie, modalità e densità delle prove e delle indagini da effettuare negli ambiti per nuovi insediamenti e infrastrutture. Tali indagini possono confermare le microzone, associando specifici parametri quantitativi, oppure modificarle localmente.

²¹ L'art. 2 dell'OPCM 3274/03 prevede che queste opere siano assoggettate a verifica sismica entro 5 anni dalla pubblicazione della OPCM stessa (maggio 2003). Il termine è stato prorogato al 2010 dalla legge del 28 febbraio 2008 n.31. Per le opere di competenza statale le verifiche devono essere sintetizzate in apposite schede emanate con OPCM 3502/06. Diverse Regioni hanno adottato schede simili anche per le opere di propria competenza.

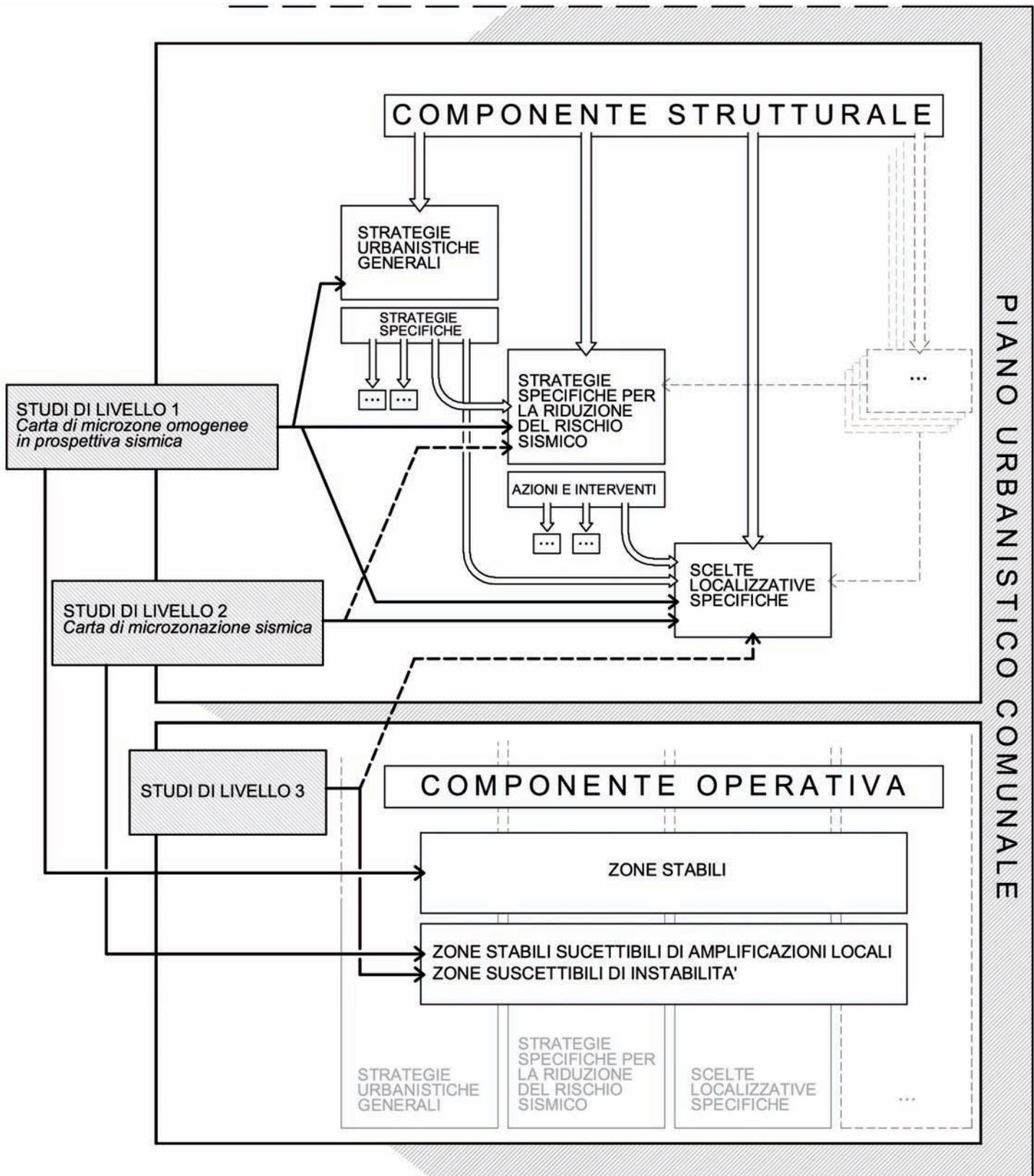


Figura 1.7-1 - Schema sull'utilizzazione degli studi di MS nel processo della pianificazione comunale.

1.7.3.4 COMPONENTE ATTUATIVA-ESECUTIVA

Con la componente attuativa-esecutiva devono essere definiti, qualora non indicati dalla componente operativa:

- i livelli di approfondimento necessari per la MS;
- i soggetti realizzatori degli studi di MS.

Nella componente attuativa-esecutiva devono essere attuate le prescrizioni e regole definite dalla componente operativa riguardanti la mitigazione del rischio per i singoli ambiti e per le aree individuate, sia attraverso l'applicazione della normativa antisismica per la riduzione della vulnerabilità, sia attraverso interventi specifici finalizzati all'eventuale riduzione dell'esposizione.

Nella componente attuativa-esecutiva devono essere realizzati i programmi di indagine previsti dalla componente operativa.

Tabella 1.7-1 – Corrispondenza fra componenti della pianificazione comunale e strumenti previsti dalle norme regionali

Regione	Legge di riferimento	Componente strutturale	Componente operativa	Componente attuativa-esecutiva
Abruzzo	LR 18/1983		PRG	PRE - PA
Basilicata	LR 23/1999	PSC	PO/RU	PA
Calabria	LR 19/2002	PSC	POT	PAU
Campania	LR 16/2004		PUC	PUA
Emilia-Romagna	LR 20/2000	PSC	POC	PUA
Friuli Venezia Giulia	LR 52/1991		PRGC	PRPC
Lazio	LR 38/1999		PUCG	PUOC
Liguria	LR 36/1997	PUC	PUO	PrA
Lombardia	LR 12/2005	PGT (DdP)	PGT(PdR)	PA
Marche	LR 34/1992		PRG	PA
Molise	(LR 24/1989)		PRG	PA
Piemonte	LR 56/1977		PRG	PA
Puglia	LR 20/2001		PUG	PUE
Sardegna	LR 45/1989		PUC	PA
Sicilia	LR 71/1978		PRG	PA
Toscana	LR 1/2005	PSC	RU	PCI - PA
Trentino Alto Adige Provincia di Bolzano	LP 13/1997		PUC	PA
Trentino Alto Adige Provincia di Trento	LP 22/1991		PRG	PA
Umbria	LR 11/2005	PRG (Parte strutturale)	PRG (Parte operativa)	PA
Valle d'Aosta	LR 11/1998		PRG	PUD
Veneto	LR 11/2004	PAT	PI	PUA

DdP Documento di Piano
PCI Piano Complesso d'intervento
PO Piano Operativo
PRE Piano Regolatore Esecutivo
PSC Piano Strutturale Comunale
PUD Piano Urbanistico di Dettaglio
PUOC Piano Urbanistico Operativo Comunale

PA Piani Attuativi (vari)
PdR Piano delle Regole
POT Piano Operativo Temporale
PRG Piano Regolatore Generale
PUA Piano Urbanistico Attuativo
PUE Piano Urbanistico Esecutivo
RU Regolamento Urbanistico

PAT Piano di Assetto del Territorio
PGT Piano di Governo del Territorio
PP Piano Particolareggiato
PRGC Piano Regolatore Generale Comunale
PUC Piano Urbanistico Comunale
PUG Piano Urbanistico Generale

PAU Piano Attuativo Unitario
PI Piano degli Interventi
PrA Programma Attuativo
PRPC Piano Regolatore Particolareggiato Comunale
PUCG Piano Urbanistico Comunale Generale
PUO Progetto Urbanistico Operativo

Rientrano nella componente attuativa-esecutiva tutte le procedure finalizzate a regolamentare gli interventi diretti. Al fine di orientare anche tali modalità di intervento nell'ambito delle strategie di mitigazione del rischio sismico l'ente locale si fa promotore e si dota della *Carta di microzonazione sismica* e la rende disponibile. La *Carta di microzonazione sismica*, predisposta per le aree ad intervento diretto, è estesa a tutte le zone suscettibili di amplificazione e a tutte le zone suscettibili di instabilità in cui siano previste categorie di intervento che prevedano l'utilizzazione, anche in funzione della normativa antisismica, degli studi di MS.

L'individuazione delle relazioni fra categorie di intervento, applicazione delle norme antisismiche e utilizzazione degli studi di MS costituiscono parte integrante della componente strutturale (paragrafo 1.7.3.2).

L'ente locale determina altresì le condizioni, attraverso le norme tecniche d'attuazione e il regolamento urbanistico, perché tale Carta diventi uno strumento conoscitivo di riferimento di cui i progetti di nuova edificazione o i progetti di adeguamento o miglioramento per l'edilizia esistente ne debbano tener conto, al fine di verificare con essa la coerenza di quanto rilevato a fini progettuali. Nella predisposizione della Carta dovranno essere indicate anche le zone nelle quali necessariamente devono essere condotti approfondimenti (livello 3).

1.8 Pianificazione dell'emergenza

1.8.1 GENERALITÀ

Il metodo Augustus elaborato dal DPC nel 1997 definisce la pianificazione per l'emergenza come *"l'insieme delle procedure operative di intervento da attuarsi nel caso in cui si verifichi l'evento atteso contemplato in un apposito scenario"*.

Più in dettaglio, la pianificazione per l'emergenza comprende quell'insieme di attività volte allo sviluppo ed al mantenimento di procedure condivise finalizzate a prevenire, controllare, gestire, mitigare una condizione di emergenza. La pianificazione per l'emergenza:

- è definita come processo di previsione dei rischi e di preparazione alle emergenze, supportato da procedure finalizzate a garantire la preparazione dei soggetti coinvolti nella gestione delle emergenze e all'aggiornamento della pianificazione stessa;
- include l'attività di esercitazione e di informazione alla popolazione, nonché il periodico aggiornamento finalizzato a recepire anche le modifiche nelle condizioni d'uso e fisiche del territorio;
- si raccorda inoltre con la pianificazione urbanistica e territoriale fornendole indicazioni sugli elementi primari di carattere operativo, logistico ed infrastrutturali;
- indica la disponibilità di risorse strutturali per la gestione delle emergenze.

Il piano di emergenza è costituito da tre parti: parte generale, lineamenti della pianificazione, modello di intervento.

Nella parte generale sono raccolti i dati di base (cartografie e carte tecniche) e sono riportati gli scenari di danno.

Nei lineamenti della pianificazione sono individuati gli obiettivi del piano.

Infine, nel modello di intervento si identifica l'insieme, ordinato e coordinato secondo procedure, degli interventi che le Componenti e Strutture Operative di Protezione Civile attuano al verificarsi dell'evento.

La pianificazione dell'emergenza si suddivide in piano provinciale e in piano comunale.

Il piano provinciale raccoglie, dai comuni e dalla regione, tutte le informazioni relative alla conoscenza del territorio, finalizzate all'elaborazione dei possibili scenari di danno che possono interessare l'intera provincia. Sono quindi individuati gli obiettivi per una coordinata risposta di protezione civile, con l'indicazione delle procedure per l'attivazione delle Componenti e Strutture Operative presenti nel territorio provinciale. Infine, il piano individua le procedure per lo schieramento ordinato e coordinato delle Componenti e delle Strutture Operative di Protezione Civile provinciali, integrate dal concorso di forze esterne regionali e nazionali.

Il piano comunale raccoglie tutte le informazioni relative alla conoscenza del territorio comunale, finalizzate all'elaborazione dei possibili scenari di danno che possono interessare l'area comunale.

Sono quindi individuate nel dettaglio tutte le azioni di pronto intervento e di soccorso a carico delle varie componenti locali di protezione civile.

Ai sensi della normativa vigente sulla protezione civile (legge n. 225 del 1992 e decreto legislativo n. 112 del 1998 e successive modificazioni), la predisposizione dei piani provinciali di emergenza è compito delle Amministrazioni provinciali sulla base degli indirizzi regionali, mentre le Amministrazioni comunali hanno il compito di predisporre i piani di emergenza comunali, anche in forma associata.

Nelle Appendici sono riportate tre schede tecniche che approfondiscono i temi trattati in questo capitolo. La prima scheda tecnica è relativa alla pianificazione per l'emergenza (scheda tecnica 3.1.11), la seconda è relativa agli scenari di danno (scheda tecnica 3.1.12), e la terza è relativa alla modellazione degli effetti di amplificazione negli scenari di danno (scheda tecnica 3.1.13).

1.8.2 OBIETTIVI

In relazione al piano di emergenza per evento sismico, la base di partenza per lo sviluppo di entrambi i piani (provinciale e comunale) è rappresentata dallo scenario di danno determinato per l'evento sismico di riferimento.

Lo scenario consente la quantificazione delle risorse di protezione civile (sia umane che strumentali) da mettere in campo per la gestione complessiva dell'emergenza.

Nell'ambito delle analisi di scenario di danno riveste notevole importanza la conoscenza degli effetti locali, che possono far variare notevolmente i parametri del terremoto al sito, indurre deformazioni permanenti, influenzando anche in maniera significativa la stima delle risorse di protezione civile.

Per entrambi i piani la *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica* (livello 1) rappresenta il livello di conoscenza di base, che contribuisce all'individuazione e alla scelta consapevole di una serie di elementi strategici di un piano di emergenza, quali aree di emergenza, edifici strategici e rilevanti, sistemi infrastrutturali.

La *Carta di microzonazione sismica* (livello 2) rappresenta il livello di conoscenza utilizzabile nelle valutazioni di sicurezza di strutture ed opere specifiche, come, ad esempio, quelle strategiche per il coordinamento per la protezione civile (municipio, caserma V.V.F., ecc.) e quelle che possono assumere rilevanza in caso di collasso (scuola, edificio soggetto a grande affollamento, attività a rischio di incidente rilevante, ecc.).

La stessa Carta può fornire anche dati utili alla predisposizione di scenari di danno di maggiore dettaglio.

La *Carta di microzonazione sismica con approfondimenti* (livello 3) rappresenta un livello di conoscenza utilizzabile per la verifica sismica delle strutture strategiche e rilevanti esistenti.

Tutta la documentazione relativa agli studi di MS e alle banche dati riguardanti i settori indagati (popolazione, viabilità, infrastrutture primarie e secondarie, idrogeologia, etc) è, di norma, raccolta ed organizzata in un sistema informativo territoriale (SIT).

1.8.3 MODALITÀ DI UTILIZZO DEGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA

In generale nella pianificazione per l'emergenza è possibile individuare due modalità di utilizzo delle informazioni che derivano dagli studi di MS: speditiva ed analitica.

La modalità speditiva fa uso delle informazioni qualitative derivanti dagli studi di MS di livello 1. La modalità analitica fa uso delle informazioni quantitative derivanti dagli studi di MS di livello 2 e 3.

In generale le modalità descritte nel seguito valgono sia in sede di redazione di un piano di emergenza ex-novo, che di revisione di piano di emergenza esistente, per entrambi i livelli di pianificazione comunale e provinciale.

Nella Tabella 1.8-1 viene riportata una sintesi delle modalità di utilizzo dei risultati della MS nella pianificazione per l'emergenza.

1.8.3.1 MODALITÀ SPEDITIVA (UTILIZZO DEL LIVELLO 1)

La modalità speditiva si applica sovrapponendo, alla carta delle risorse strategiche di protezione civile (ubicazione degli edifici strategici e rilevanti e delle aree e strutture di emergenza) e alla cartografia della rete viaria, la *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica* (perimetrazione delle zone suscettibili di instabilità, delle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali e delle zone stabili) in modo da individuare sia le situazioni idonee, che quelle critiche.

La *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica* (livello 1) si utilizza per:

- l'identificazione e la valutazione di conformità delle aree di emergenza;
- una prima verifica di eventuali tratti critici nel sistema di infrastrutture viarie a supporto della gestione dell'emergenza sismica ed in quello di servizio;
- l'individuazione delle strutture strategiche e di emergenza (edifici strategici per la protezione civile e strutture di accoglienza) sulle quali effettuare eventualmente approfondimenti specifici con la valutazione della sicurezza sismica.

1.8.3.1.1 Aree di emergenza

Uno degli obiettivi primari per la corretta pianificazione per l'emergenza è quello di individuare gli spazi necessari alla gestione di una situazione di crisi. Le recenti esperienze hanno confermato l'esigenza di individuare ed eventualmente predisporre "in tempo di pace" aree idonee all'organizzazione delle operazioni di assistenza alla popolazione, che possono essere definite come segue:

- Aree di attesa (o Aree di primo soccorso APS, *Meeting point*, Punto di raccolta): sono le aree di primo ritrovo per la popolazione dopo il verificarsi di un evento, raggiungibili attraverso un percorso sicuro.
- Aree di accoglienza (o Aree di ricovero): sono le aree dove la popolazione viene accolta in strutture idonee, per il primo controllo anagrafico-sanitario e per l'assistenza abitativa (campi per tende e/o roulotte, per container e/o casette di legno).
- Aree di ammassamento (o Aree di ammassamento dei soccorritori e delle risorse): sono le aree dove vengono allestiti i campi base per uomini e mezzi delle strutture operative e del volontariato, che si sono attivati per il soccorso della popolazione.

In generale la loro identificazione e scelta avviene secondo criteri di sicurezza, accessibilità e disponibilità di servizi.

Andranno escluse dal novero delle possibili aree di emergenza tutte quelle aree che ricadono, anche solo parzialmente, in zone definite suscettibili di instabilità dalla *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica*.

Per le Aree di accoglienza destinate a campi containers e/o cassette di legno, in ragione della prevedibile maggiore durata del loro utilizzo, potranno essere richiesti degli approfondimenti puntuali.

Si precisa che i risultati degli studi di MS rappresentano solo uno degli elementi per l'identificazione e la scelta delle aree, in quanto possono insistere sul territorio altri elementi di pericolosità (es. esondazioni, frane di natura idrogeologica, ecc.) e di criticità nelle infrastrutture di servizio delle aree (viabilità, reti idriche, reti elettriche, ecc.), che vanno considerati nella scelta finale.

1.8.3.1.2 Infrastrutture viarie

La configurazione urbanistica di un centro abitato, così come la presenza di ponti o altri elementi infrastrutturali che potrebbero subire danni o interruzioni in caso di evento sismico, sono aspetti da tenere in considerazione nella pianificazione, al fine di individuare le potenziali fonti di pericolo e le possibili vie di fuga o di collegamento con edifici strategici.

In particolare le analisi del contesto urbano, della rete viaria e dei flussi di comunicazione costituiscono la base per la pianificazione e per la regolamentazione delle vie di fuga e di collegamento.

In conseguenza delle analisi descritte si redige una cartografia della rete viaria in cui vengono evidenziati:

- punti critici (ponti, strettoie, ecc.)
- vie di fuga
- percorsi per i soccorsi
- tratti in cui interdire il traffico

La sovrapposizione di tale cartografia con la *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica* (livello 1) consente di individuare tutti i tratti di viabilità che ricadono in zone suscettibili di instabilità e zone stabili suscettibili di amplificazioni locali. Si procede alla valutazione della ridondanza della viabilità interessata da zone suscettibili di instabilità rispetto al sistema complessivo viario.

Se tale ridondanza è bassa, ovvero la viabilità rappresenta una delle poche direttrici di collegamento, essa è segnalata nel piano di emergenza come "critica" e se ne stima la vulnerabilità con metodi semplificati. Analogamente si può operare per gli edifici prospicienti i tratti critici, dove si possono usare schede di valutazione della vulnerabilità disponibili in letteratura²².

Se tale ridondanza è alta, ovvero esiste un sistema viario alternativo ed affidabile, non sono necessari ulteriori studi specifici, ma è sufficiente riportare nel piano di emergenza le azioni da intraprendere per escludere al traffico la viabilità eventualmente interrotta ed individuare e segnalare sul posto la viabilità alternativa.

22 Ad esempio le schede GNDT di I e II livello per gli edifici in muratura e di I livello per gli edifici in c.a. (CNR-GNDT,1993).

1.8.3.1.3 Infrastrutture di servizio

Per una prima valutazione sulla conformità delle infrastrutture di servizio (acquedotti, gasdotti, reti elettriche, idriche, fognarie, ecc.), i tratti di tali infrastrutture che ricadono, anche solo parzialmente, nelle zone suscettibili di instabilità, sono segnalati nel piano di emergenza come "critici". Per essi si valuta la possibilità di approfondire la valutazione della sicurezza sismica, anche utilizzando i livelli 2 o 3 degli studi di MS, se disponibili.

1.8.3.1.4 Edifici strategici e strutture di emergenza

Gli edifici strategici ai fini dei soccorsi della protezione civile e le strutture di emergenza (edifici per l'accoglienza della popolazione sfollata), sono esclusi dall'uso in emergenza qualora ricadano, anche solo parzialmente, nelle zone suscettibili di instabilità. Tale condizione viene comunicata ai soggetti proprietari, anche ai fini delle prescritte verifiche di sicurezza²³.

Tali verifiche possono utilizzare i risultati degli studi di MS, secondo quanto riportato nel paragrafo 1.9.3.4.

1.8.3.1.5 Altre opere

Le altre opere e strutture, quali ad esempio gli edifici che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze in caso di eventuale collasso post-sisma (scuole, uffici aperti al pubblico suscettibili di affollamento, chiese, ecc.), le opere che possono comportare gravi conseguenze in termini di danni ambientali (industrie a rischio di incidente rilevante, ecc.), i beni culturali di particolare interesse, che ricadono, anche solo parzialmente, nelle zone suscettibili di instabilità, sono evidenziati nel piano di emergenza e se ne tiene conto nella definizione del modello di intervento. Tale condizione viene comunicata ai soggetti proprietari, anche ai fini delle prescritte verifiche di sicurezza²⁴.

Tali verifiche possono utilizzare i risultati degli studi di MS, secondo quanto riportato nel paragrafo 1.9.3.4.

1.8.3.2 MODALITÀ ANALITICA (UTILIZZO DEL LIVELLO 2)

La modalità analitica sfrutta le informazioni quantitative derivanti dagli studi di MS per effettuare specifiche valutazioni di rischio, relativamente a strutture ed opere strategiche per la protezione civile o che possono assumere rilevanza in seguito ad un collasso post-sisma, secondo quanto riportato nel paragrafo 1.9.3.4. Per tali strutture, peraltro, è prevista l'esecuzione di verifiche sismiche di dettaglio, con priorità per le zone sismiche 1 e 2, indipendentemente dalla pericolosità sismica locale.

1.8.3.2.1 Aree di emergenza

Per le Aree di emergenza, l'informazione quantitativa sulle zone suscettibili di amplificazioni e sulle zone suscettibili di instabilità non modifica la valutazione, che si può già effettuare attraverso la modalità speditiva con le considerazioni riportate nel paragrafo 1.8.3.1.

Fanno eccezione le Aree di accoglienza destinate a campi containers e/o casette di legno, in ragione della prevedibile maggiore durata del loro utilizzo, per le quali possono essere richiesti degli approfondimenti al fine di caratterizzare quantitativamente gli eventuali incrementi locali dell'azione sismica.

²³ Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003, n. 3274, articolo 2.

²⁴ Ibid.

1.8.3.2.2 Infrastrutture viarie

Per le infrastrutture viarie, l'informazione quantitativa sulle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali e sulle zone suscettibili di instabilità può modificare la valutazione di criticità già effettuata con la modalità speditiva.

In particolare, analogamente a quanto descritto nel paragrafo 1.8.3.1, dovrà essere valutata la ridondanza, rispetto al sistema viario complessivo, della viabilità nei tratti critici che attraversano zone suscettibili di instabilità o suscettibili di amplificazione.

Se la ridondanza è alta, è sufficiente riportare nel piano di emergenza le azioni da intraprendere per escludere al traffico la viabilità eventualmente interrotta ed individuare e segnalare sul posto la viabilità alternativa.

Se invece la ridondanza è bassa, si consiglia di approfondire le condizioni di sicurezza sismica delle opere d'arte e degli edifici prospicienti i punti critici²⁵, con priorità per le zone sismiche 1 e 2.

1.8.3.2.3 Infrastrutture di servizio

Per i tratti individuati come "critici" a seguito dell'analisi in modalità speditiva, si possono utilizzare le informazioni derivanti dal livello 2 degli studi di MS al fine di approfondire le condizioni di sicurezza sismica delle opere, prioritariamente per le zone sismiche 1 e 2. Per infrastrutture che ricadono nelle zone sismiche 3 e 4 se ne valuta la necessità per ogni caso specifico.

1.8.3.2.4 Edifici strategici, strutture di emergenza ed altre opere

Le informazioni derivanti dal livello 2 degli studi di MS possono essere utilizzate per la prescritta verifica sismica degli edifici strategici per la Protezione civile e per le strutture di emergenza, prioritariamente per le zone sismiche 1 e 2 (paragrafo 1.9.3.4.). Per edifici che ricadono nelle zone sismiche 3 e 4 se ne valuta la necessità per ogni caso specifico.

In considerazione del costo che tali analisi comportano, è consigliabile effettuare valutazioni semplificate della vulnerabilità strutturale delle opere, prima di procedere a valutazioni più approfondite.

1.8.3.2.5 Scenari di danno

Il livello 2 degli studi di MS consente un affinamento della previsione di uno scenario di danno. Con i valori di amplificazione differenziati è possibile prendere in considerazione pericolosità differenziate per gli elementi a rischio presenti sul territorio.

Il coerente utilizzo di queste informazioni richiede che l'analisi di scenario sia in grado di trattare la discretizzazione del territorio in microzone omogenee e, parallelamente, sia in grado di utilizzare gli elementi informativi riguardanti la vulnerabilità²⁶ e l'esposizione ad un dettaglio paragonabile.

Qualora ciò non sia possibile e l'analisi di scenario consideri l'intero territorio comunale come una

²⁵ Sono state messe a punto due procedure per una valutazione di maggior dettaglio della vulnerabilità, denominate VC e VM, rispettivamente per il c.a. e per la muratura. Esse permettono di valutare la resistenza sismica degli edifici, in termini sia di taglio di piano che di accelerazione a terra, sfruttando appieno le informazioni normalmente disponibili attraverso un rilievo non particolarmente accurato e/o la documentazione originale di progetto. (http://gndt.ingv.it/convegni/Convegno_GNDT_2005/Riassunti/Dolce_Dolce.doc)

²⁶ La vulnerabilità non necessariamente deve essere conosciuta puntualmente, ma si può anche semplificare ricorrendo a zone di edificato omogenee dal punto di vista strutturale, che siano di estensione compatibile con le microzone.

unità indifferenziata, le conseguenti necessarie semplificazioni potrebbero non portare ad un effettivo miglioramento dei risultati rispetto a impostazioni che non considerino gli effetti locali.

Va precisato che l'evento sismico di riferimento utilizzato per gli scenari non necessariamente corrisponde all'evento utilizzato per la predisposizione degli studi di MS.

Per la definizione dell'evento sismico di riferimento, sono possibili diverse scelte, fra le quali:

- evento sismico più gravoso accertato nella zona, generalmente caratterizzato da una bassa probabilità di accadimento;
- evento sismico che più contribuisce alla pericolosità sismica del sito²⁷;
- evento che produce i maggiori danni.

Un approfondimento sugli scenari di danno per la pianificazione dell'emergenza è riportato nella scheda tecnica 3.1.12.

1.8.3.3 MODALITÀ DI UTILIZZO DEGLI STUDI DI MS DI LIVELLO 3

Qualora sia disponibile il livello 3 della MS, i risultati possono essere utilizzati per la verifica sismica di tutte quelle opere e strutture individuate come "critiche" e per le quali sono disponibili gli approfondimenti che caratterizzano il livello 3.

La verifica sismica è condotta come descritto nel paragrafo 1.9.3.4.

1.8.4 PROCEDURE ATTUATIVE

1.8.4.1 VALUTAZIONE DEL GRADO DI AFFIDABILITÀ DEI DATI

Il pianificatore verifica l'origine dei dati e degli studi di MS, avendo cura di riportare nei documenti del piano gli estremi degli studi con il nome degli estensori, dell'amministrazione committente e dell'anno di redazione.

1.8.4.2 MODALITÀ DI RAPPRESENTAZIONE

Gli elaborati del piano di emergenza sono integrati con gli studi di MS.

Nel piano di emergenza, l'utilizzazione del livello 1 comporta l'integrazione della componente riguardante il rischio sismico nel livello informativo riguardante gli areali di rischio.

Per quanto riguarda i risultati del livello 2, oltre alle restituzioni attese già descritte per il livello 1, è previsto un livello informativo che sintetizzi i risultati ottenuti dall'elaborazione degli scenari di danno.

1.8.4.3 TEMPI DI AGGIORNAMENTO

Il piano di emergenza, in generale, deve essere sempre tenuto aggiornato sia in funzione del progresso nella valutazione dell'evento di riferimento, che in funzione di una più approfondita conoscenza del territorio.

La predisposizione di uno studio di MS implica la revisione del piano di emergenza preesistente.

L'aggiornamento degli studi di MS che abbia rilevanza sulle scelte del piano di emergenza determina la necessità di aggiornamento di quest'ultimo.

²⁷ Per una assegnata probabilità di eccedenza è possibile condurre analisi di disaggregazione della pericolosità, con le quali identificare le coppie magnitudo-distanza che offrono il massimo contributo alla pericolosità del sito in esame. Gli eventi così caratterizzati sono coerenti con le analisi di pericolosità di base sulle quali generalmente si fondano gli studi di MS.

Tabella 1.8-1 - Sintesi delle modalità di utilizzo dei risultati della MS nella pianificazione per l'emergenza: modalità speditiva e modalità analitica

Livelli di MS	Modalità di utilizzo	Potenziali elementi considerati nella pianificazione d'emergenza	Risultati della MS utilizzati nella pianificazione d'emergenza	Risultati ottenuti
L1	Speditiva	<p>Aree di emergenza Infrastrutture viarie Infrastrutture di servizio Edifici strategici Strutture di emergenza Edifici rilevanti Attività produttive a rischio di incidente rilevante Beni culturali di particolare rilevanza</p>	<p>Zone stabili Zone suscettibili di instabilità Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali</p>	<p>Verifica di conformità per: Aree di emergenza Infrastrutture viarie Infrastrutture di servizio Edifici strategici Strutture di emergenza rispetto alle zone suscettibili di instabilità.</p> <p>Orientare approfondimenti per: Infrastrutture viarie Infrastrutture di servizio Edifici strategici Strutture di emergenza Edifici rilevanti Attività produttive a rischio di incidente rilevante Beni culturali di particolare rilevanza rispetto alle zone suscettibili di instabilità.</p> <p>Eventuale rilocalizzazione degli elementi di cui sopra, con particolare riferimento alle risorse strategiche.</p> <p>Localizzazione, per i nuovi piani di emergenza, degli elementi di cui sopra preferibilmente in: 1) zone stabili per gli elementi strutturali ed infrastrutturali; 2) zone stabili anche se soggette ad amplificazione per le aree di emergenza.</p>
L2	Analitica	<p>Infrastrutture viarie Infrastrutture di servizio Edifici strategici Strutture di emergenza Edifici rilevanti Attività produttive a rischio di incidente rilevante Beni culturali di particolare rilevanza</p>	<p>Quantificazioni numeriche per le zone suscettibili di instabilità, con metodi semplificati Fattori di amplificazione da abachi</p>	<p>Verifiche sismiche degli elementi considerati ricadenti in zone instabili e zone soggette ad amplificazioni, individuate da L1 Valutazioni di scenari di danno</p>
L3	Analitica con approfondimenti puntuali	<p>Infrastrutture viarie Infrastrutture di servizio Edifici strategici Strutture di emergenza Edifici rilevanti Attività produttive a rischio di incidente rilevante Beni culturali di particolare rilevanza</p>	<p>Quantificazioni numeriche dei fenomeni di deformazione permanente da simulazioni numeriche Fattori di amplificazione o spettri da simulazioni numeriche</p>	<p>Verifiche sismiche</p>

1.9 Progettazione di opere²⁸

1.9.1 GENERALITÀ

La normativa nazionale (Norme tecniche per le costruzioni, nel seguito NTC)²⁹ prevede che ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto sia valutato l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi che consentano di definire le modifiche che un segnale sismico, relativo ad un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria A) subisce, a causa delle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e delle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica, si può fare riferimento alle categorie di sottosuolo alle quali le NTC associano valori di parametri numerici, che modificano gli spettri di risposta per tener conto dell'effetto "stratigrafico". Il riconoscimento della categoria si effettua in base ai valori della velocità equivalente $V_{s,30}$ di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità, che si raccomanda di determinare direttamente. Quando tale determinazione non sia disponibile, la classificazione può essere effettuata in base ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica (*Standard Penetration Test*) $N_{SPT,30}$ nei terreni prevalentemente a grana grossa e della resistenza non drenata equivalente $c_{u,30}$ nei terreni prevalentemente a grana fina. Un altro parametro, il coefficiente S_r , può essere utilizzato per tener conto della morfologia superficiale (pendii, cigli). Nel caso di terreni di bassa consistenza o suscettibili di liquefazione, non sono consentiti approcci semplificati e, quindi, si ricorre a specifiche analisi di risposta sismica locale³⁰.

Per quanto riguarda la progettazione delle fondazioni, le NTC stabiliscono che vengano effettuate, preliminarmente:

- la valutazione della sicurezza del sito nei confronti della liquefazione e della stabilità dei pendii;
- la valutazione della risposta sismica locale del sito.

Inoltre, per quanto riguarda la realizzazione di costruzioni su pendii, le NTC prevedono che siano eseguite verifiche di stabilità.

Le norme, infine, stabiliscono 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.

28 Per progettazione di opere si intende, in questo contesto, la progettazione strutturale, ossia quella che mira a garantire i requisiti di resistenza meccanica e stabilità, anche in caso di incendio, così come previsto nelle NTC.

29 Al momento della scrittura del presente documento è in corso l'aggiornamento del DM14 settembre 2005, che innova in modo sostanziale la parte riguardante la progettazione sismica recependo parti ulteriori dell'Eurocodice 8 e anche parti degli allegati all'OPCM 3274/03. Restano sostanzialmente confermati sia l'importanza dello studio della risposta sismica locale (amplificazione locale), sia, in sua mancanza, la possibilità di tener conto dell'influenza della stratigrafia sull'amplificazione locale tramite coefficienti dipendenti dalla categoria di sottosuolo e di tener conto dell'influenza della morfologia tramite coefficienti dipendenti dalle caratteristiche di quest'ultima.

30 Indicazioni simili si trovano anche nell'allegato 2 alla OPCM 3274/03, dove si prevede (2.4) che "per i siti di costruzione ed i terreni in esso presenti dovranno essere indagati e valutati l'occorrenza di possibili fenomeni di instabilità di pendii e di cedimenti permanenti causati da fenomeni di liquefazione o eccessivo addensamento in caso di terremoto, nonché di rottura di faglia in superficie". Da notare l'esplicito riferimento alla fagliazione superficiale.

Le NTC, pertanto, richiedono che nella progettazione siano affrontati aspetti propri degli studi di MS. È quindi conseguente che tali studi condividano alcuni obiettivi della progettazione. È peraltro differente la scala alla quale si opera: la progettazione è riferita a uno specifico manufatto e quindi riguarda ambiti territoriali che possono essere estremamente limitati, a differenza di quanto avviene con gli studi di MS. In genere quindi lo studio a supporto della progettazione fornisce informazioni più puntuali di quelle che sono disponibili per la MS. Il grado di approfondimento per la progettazione è fissato dalla norma. Per la MS è in funzione del livello e può anche essere pari a quello richiesto dalla progettazione.

1.9.2 OBIETTIVI

Da quanto sopra riportato emerge che la progettazione antisismica dei manufatti può essere condotta a una scala e a un livello di approfondimento delle problematiche sopra elencate, diversi da quelli che caratterizzano gli studi di MS. Tuttavia, quando ufficialmente riconosciuto dalle Amministrazioni locali, uno studio di MS costituisce per il progettista un importante riferimento per la valutazione dei rischi del sito in cui il manufatto ricade, per la programmazione delle indagini sui terreni di fondazione e di eventuali interventi per la riduzione dei rischi.

Lo studio di MS può anche configurarsi, ai fini della normativa per la progettazione, come “una più accurata determinazione” per uno o più aspetti da essa considerati (amplificazione locale e deformazioni permanenti), in funzione del livello al quale esso è sviluppato e delle eventuali regole stabilite dalla Regione.

Nell'utilizzo dei risultati della MS a fini di progettazione si differenzierà il livello di approfondimento accettabile in funzione dell'importanza o della classe dell'opera³¹: sarà in genere possibile riferirsi a livelli di minor approfondimento nel caso di costruzioni ordinarie per uso ed impegno economico, mentre sarà richiesto un livello più elevato per costruzioni strategiche a fini di protezione civile e per quelle suscettibili di conseguenze rilevanti in caso di collasso. Per le costruzioni strategiche, infatti, la norma richiede una maggiore affidabilità, espressa dal requisito di funzionalità nell'immediato post-sisma e di raggiungimento dello stato limite ultimo a fronte di eventi caratterizzati da probabilità di eccedenza più basse di quelle considerate per le costruzioni ordinarie. Requisiti meno restrittivi, ma superiori a quelli delle costruzioni ordinarie, sono richiesti per le costruzioni in cui un collasso può determinare conseguenze rilevanti in termini di vite umane, danni per l'ambiente

31 Dall'introduzione del coefficiente di importanza “I” nel 1984 la normativa italiana ha previsto che l'azione sismica sia differenziata in funzione dell'uso in modo da consentire: a) che opere strategiche per finalità di protezione civile continuino ad essere funzionanti nell'immediato post-sisma garantendo il soccorso alle popolazioni colpite; b) che opere particolarmente rilevanti o per il numero di persone che le frequentano o per il loro valore o per il rischio che pongono all'ambiente abbiano una minore probabilità di collasso. Questi principi si sono evoluti in un'ottica più chiaramente prestazionale con gli Allegati 2 e 3 alla OPCM 3274/2003 e s.m.i., che hanno previsto la definizione degli obiettivi della progettazione in termini di stati limite da rispettare in relazione a livelli di azione sismica aventi assegnate probabilità di eccedenza, variabili in funzione dell'uso dell'opera. Gli stessi Allegati hanno consentito l'uso di fattori di importanza simili ai coefficienti di protezione presenti nei DM emanati dopo il 1984. Le NTC emanate con DM 14 settembre 2005, recependo l'impostazione dell'Eurocodice 8, considerano due classi di importanza con vita utile di 50 e 100 anni e definiscono la possibilità di assegnare una vita utile ancora più elevata (200 anni) alle opere di importanza eccezionale. Le azioni di riferimento da considerare nella progettazione sono caratterizzate da un periodo di ritorno pari a 10 volte la vita utile, quindi circa 500 anni per le costruzioni ordinarie, circa 1000 per quelle importanti e circa 2000 per quelle eccezionali.

Le NTC in corso di emanazione prevedono che l'azione sismica sia commisurata al periodo di riferimento (V_R) dell'opera ed allo stato limite (SL) da verificare. Il periodo di riferimento si ottiene in funzione della vita nominale dell'opera (V_N) e della classe d'uso della stessa. La V_N è concettualmente la stessa del DM 14 settembre 2005 e dell'Eurocodice; è collegata alle esigenze di durabilità e prevede tre valori: ≤ 10 , ≥ 50 e ≥ 100 anni, con il valore 10 riservato alle opere provvisorie. Le classi d'uso sono concettualmente quelle alle quali nelle precedenti norme venivano attribuiti valori differenziati dei coefficienti di protezione o di importanza o probabilità di eccedenza dell'azione differenziate. Sono 4 classi: la I prevede una occasionale presenza di persone, la II è quella delle costruzioni ordinarie con normali affollamenti e assenza di particolari sostanze pericolose, la III è quella delle opere rilevanti, con particolari affollamenti o sostanze pericolose, la IV è quella delle opere strategiche e delle industrie a rischio. Il periodo di riferimento per l'azione sismica si ottiene moltiplicando la V_N per il coefficiente associato alla classe d'uso C_u , che varia fra 0.7 (Classe I) e 2.0 (Classe IV): $V_R = C_u \times V_N$. V_R non può essere inferiore a 35 anni. Quindi varia fra 35 e 200 anni. L'azione sismica è commisurata a V_R ed allo SL da verificare: in sostanza V_R definisce il periodo di osservazione e allo SL è associata la probabilità di eccedenza dell'azione da considerare. Tali probabilità variano fra l'81% per lo SL di operatività (SLO), 63% per lo SL di danno (SLD), 10% per lo SL di salvaguardia della vita (SLV), fino al 5% per lo SL di prevenzione del collasso (SLC). Di conseguenza il periodo di ritorno dell'azione sismica da considerare nella progettazione varia fra 35 e 3900 anni. Per le opere ordinarie il periodo di ritorno dell'azione sismica da considerare per lo SLV vale circa 500 anni, mentre per le opere strategiche può valere 950 o 1900 anni in funzione della V_N .

o per i beni monumentali. In genere tali opere richiedono investimenti rilevanti e, quindi, anche per la progettazione vi sono risorse che consentono ulteriori approfondimenti rispetto a quanto fornito dallo studio di MS.

Le Regioni regolamentano le modalità di confronto tra le azioni sismiche di norma³² e quelle derivanti dagli studi di MS.

Tutti i livelli previsti di MS si prestano ad un positivo utilizzo, con differente incisività.

Si ravvisa l'opportunità di una interazione fra soggetto realizzatore e progettista per la valutazione del grado di affidabilità dei dati, delle elaborazioni e dei risultati.

Nei paragrafi successivi vengono descritte le modalità di utilizzo degli studi di MS per le tipologie di opere citate:

- edilizia ordinaria di nuova edificazione
- edilizia ordinaria esistente
- opere strategiche di nuova costruzione
- opere strategiche esistenti

1.9.3 MODALITÀ DI UTILIZZO DEGLI STUDI DI MS

1.9.3.1 EDILIZIA ORDINARIA DI NUOVA EDIFICAZIONE

Nel caso di edilizia ordinaria di nuova edificazione la *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica* (livello 1) offre alcuni elementi di immediato utilizzo:

- nelle zone stabili (paragrafo 1.6.3.1.2), previa verifica speditiva³³ dell'effettiva corrispondenza di quanto riportato nella Carta con la situazione del sito di costruzione e previa esecuzione di indagini di limitata estensione, è possibile attribuire la categoria di riferimento del sottosuolo, che sarà in genere A, o B nel caso in cui una coltre di alterazione o una fratturazione intensa e pervasiva determinino proprietà meccaniche riferibili a tale categoria;
- nelle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali la conoscenza della stratigrafia può orientare nella scelta degli eventuali approfondimenti da effettuare per l'identificazione delle categorie di sottosuolo previste dalla norma in termini di spessori e descrizione litologica;
- nelle zone suscettibili di instabilità sono necessari approfondimenti sin dalle prime fasi della progettazione.

La *Carta di microzonazione sismica* (livello 2) è utilizzabile in modo organico ai fini di progettazione:

- nelle zone stabili, previa verifica della corrispondenza delle caratteristiche del sito di costruzione con quelle riportate nella Carta e previa esecuzione di indagini di limitata estensione, è possibile attribuire il sito alla categoria di sottosuolo A, o B nel caso in cui una coltre di alterazione o una fratturazione intensa e pervasiva determinino proprietà meccaniche riferibili a tale categoria³⁴;
- nelle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali possono essere utilizzati per la progettazione

32 Modificate per tener conto degli effetti di amplificazione locale attraverso l'uso di categorie di sottosuolo e di coefficienti di topografia.

33 In ogni caso la progettazione di un'opera richiede indagini finalizzate alla caratterizzazione meccanica dei terreni al fine di dimensionarne le fondazioni. L'esecuzione di queste indagini può offrire gli elementi sufficienti a stabilire la corrispondenza con le caratteristiche prefigurate per la microzona omogenea ed a discernere fra le categorie A e B di sottosuolo.

34 Nelle zone stabili a cui è stata attribuita la categoria B, possono essere utilizzati per la progettazione gli appositi abachi purché il sito di costruzione presenti caratteristiche conformi alle ipotesi di base utilizzate per l'elaborazione degli abachi stessi.

gli appositi abachi, purché il sito di costruzione presenti caratteristiche conformi alle ipotesi di base utilizzate per l'elaborazione degli abachi stessi. In generale tali ipotesi assumono che il sottosuolo sia assimilabile ad una successione di strati approssimativamente piano paralleli, con modeste irregolarità morfologiche. Per tali condizioni sono ipotizzabili differenti procedure da adottare da parte della regione, conformemente al proprio contesto normativo. A partire dal confronto fra l'azione sismica dedotta dagli abachi con quella che si ottiene utilizzando la categoria di sottosuolo e lo spettro per essa previsto dalla norma è possibile, alternativamente:

- utilizzare l'azione più gravosa fra le due
 - demandare al progettista la valutazione finale su quale azione utilizzare
 - richiedere specifici e ulteriori approfondimenti
- nelle zone suscettibili di instabilità, in generale, il livello 2 non offre informazioni sufficienti per consentire la progettazione di un'opera nuova; pertanto le condizioni di sicurezza devono essere verificate a seguito di indagini puntuali effettuate con approfondimento comparabile con il livello 3.

La *Carta di microzonazione sismica con approfondimenti* (livello 3) è utilizzabile per la progettazione in tutte le situazioni in cui gli approfondimenti corrispondono a quelli minimi previsti dalla norma.

1.9.3.2 EDILIZIA ORDINARIA ESISTENTE

Nel caso di edilizia ordinaria esistente la *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica* (livello 1) offre diversi elementi di immediato utilizzo:

- nelle zone stabili, previa verifica speditiva dell'effettiva corrispondenza di quanto riportato nella Carta con la situazione del sito di interesse e previa esecuzione di indagini di limitata estensione, o utilizzo di informazioni esistenti, è possibile attribuire la categoria di riferimento del sottosuolo, che sarà A, o B nel caso in cui una coltre di alterazione o una fratturazione intensa e pervasiva determinino proprietà meccaniche riferibili a tale categoria;
- nelle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali la conoscenza della stratigrafia può orientare nella scelta degli eventuali approfondimenti da effettuare per l'identificazione delle categorie di sottosuolo previste dalla norma in termini di spessori e descrizione litologica; inoltre per costruzioni soggette a lavori che non comportano incrementi di carico in fondazione e non peggiorano la situazione del pendio e in assenza di dissesti riconducibili a cedimenti del terreno, è ipotizzabile che la verifica di stabilità del versante non sia effettuata³⁵;
- nelle zone suscettibili di instabilità le condizioni di sicurezza devono essere verificate a seguito di indagini puntuali effettuate con approfondimento comparabile con il livello 3.

³⁵ Tale verifica richiede la conoscenza di dati relativi ad aree esterne al sito di costruzione, la cui stabilità può essere sufficientemente garantita dalle conoscenze dello studio di MS, che proprio da una visione più vasta del problema può trarre gli elementi per una valutazione complessiva. D'altra parte il DM 16 gennaio 1996 e la relativa circolare n. 65 del 1997 consentono di omettere interventi sulle strutture di fondazione, nonché le relative verifiche, qualora siano contemporaneamente presenti tutte le condizioni puntualmente elencate dalla normativa. Condizioni riassumibili in una valutazione positiva dell'efficacia della struttura esistente con un motivato giudizio del progettista basato sull'accertamento dell'assenza di dissesti, sia presenti che passati, e sull'accertamento che l'intervento di adeguamento non turbi significativamente lo schema strutturale e i carichi in fondazione. In condizioni di substrato geologico affiorante, ancorché in pendio e con pendenze superiori a 15°, se lo studio di MS non ha riconosciuto fenomeni di instabilità, le opere che si vanno ad eseguire non alterano le condizioni preesistenti e non si sono manifestati dissesti riconducibili a deformazioni permanenti del terreno, il principio stabilito dalla norma per le fondazioni può ragionevolmente essere esteso al pendio.

Il DM 11 marzo 1988 specifica che "nel caso di modesti manufatti che ricadono in zone già note, le indagini in sito e in laboratorio sui terreni di fondazione possono essere ridotte od omesse, sempre che sia possibile procedere alla caratterizzazione dei terreni sulla base di dati e notizie raccolte mediante indagini precedenti, eseguite sui terreni simili e in aree adiacenti. In tal caso dovranno essere specificate le fonti dalle quali si è pervenuti alla caratterizzazione fisico-meccanica del sottosuolo". In tal caso le informazioni fornite dallo studio di MS possono essere sufficienti ad adempiere a quanto richiesto dalla normativa.

La *Carta di microzonazione sismica* (livello 2) è utilizzabile in modo organico ai fini di progettazione di interventi di adeguamento sismico o di miglioramento controllato:

- nelle zone stabili, previa verifica della corrispondenza delle caratteristiche del sito di intervento con quelle riportate nella Carta e previa esecuzione di indagini di limitata estensione, è possibile attribuire il sito alla categoria di sottosuolo A, o B nel caso in cui una coltre di alterazione o una fratturazione intensa e pervasiva determinino proprietà meccaniche riferibili a tale categoria³⁶;
- nelle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali possono essere utilizzati per la progettazione gli appositi abachi, purché il sito di intervento presenti caratteristiche conformi alle ipotesi di base utilizzate per l'elaborazione degli abachi stessi. In generale tali ipotesi assumono che il sottosuolo sia assimilabile ad una successione di strati approssimativamente piano paralleli, con modeste irregolarità morfologiche. Per tali condizioni sono ipotizzabili differenti procedure da adottare da parte della Regione, conformemente al proprio contesto normativo e non necessariamente in modo analogo a quanto previsto per le nuove costruzioni³⁷. A partire dal confronto fra l'azione sismica dedotta dagli abachi con quella che si ottiene utilizzando la categoria di sottosuolo e lo spettro per essa previsto dalla norma, la Regione potrà, alternativamente:
 - richiedere di utilizzare l'azione più gravosa fra le due;
 - demandare al progettista la valutazione finale su quale azione utilizzare;
 - richiedere specifici e ulteriori approfondimenti.
- nelle zone suscettibili di instabilità se le condizioni di sicurezza fornite dallo studio di MS ricadono nei limiti di norma per le costruzioni esistenti, l'intervento non altera i carichi in fondazione e non sono presenti dissesti nella struttura ad essi riferibili, la Regione può:
 - consentire l'uso delle indicazioni della MS;
 - demandare al progettista la scelta se utilizzare o meno lo studio di MS;
 - richiedere specifici approfondimenti.

Nel caso in cui lo studio di MS indichi condizioni di sicurezza al di fuori dei limiti di norma per le costruzioni esistenti saranno necessari approfondimenti comparabili con il livello 3.

La *Carta di microzonazione sismica con approfondimenti* (livello 3) è utilizzabile per la progettazione di interventi in tutte le situazioni in cui gli approfondimenti corrispondono a quelli minimi previsti dalla norma.

1.9.3.3 OPERE STRATEGICHE DI NUOVA EDIFICAZIONE

Per la progettazione su opere strategiche per fini di protezione civile o rilevanti per l'uso, è necessario attingere livelli di conoscenza paragonabili a quelli del livello 3 della MS, quanto meno nelle zone a sismicità bassa (zona 3), media (zona 2) o elevata (zona 1). Per le zone a sismicità molto bassa (zona 4) i criteri di utilizzo degli studi di MS sono mutuati da quelli esposti nei paragrafi precedenti per l'edilizia ordinaria di nuova edificazione.

³⁶ Nelle zone stabili a cui è stata attribuita la categoria B, possono essere utilizzati per la progettazione gli appositi abachi purché il sito di costruzione presenti caratteristiche conformi alle ipotesi di base utilizzate per l'elaborazione degli abachi stessi.

³⁷ Alle costruzioni esistenti è stata riconosciuta, sia dal DM 16 gennaio 1996, sia dall'OPCM 3274/2003, la possibilità di riferirsi a livelli di sicurezza diversi da quelli delle nuove costruzioni. L'OPCM 3274/2003, allegato 2, cap. 11 stabilisce che "Le Regioni possono, tenuto conto della specificità delle tipologie costruttive del proprio territorio, consentire, per gli interventi di adeguamento, un miglioramento controllato della vulnerabilità, riducendo i livelli di protezione sismica fino al 65% del livello previsto per le nuove costruzioni e quindi l'entità delle azioni sismiche da considerare per i diversi stati limite, nonché il numero degli stati limite da considerare".

Nel caso in cui il sito su cui edificare l'opera sia stato già oggetto di uno studio di MS, le indicazioni da esso fornite sono utilizzabili come orientamento per l'ottimizzazione degli approfondimenti necessari e come elemento di confronto.

1.9.3.4 OPERE STRATEGICHE ESISTENTI

Nel caso di interventi di adeguamento sismico o di miglioramento controllato, oppure di valutazioni di sicurezza sismica, i livelli di conoscenza e l'uso degli studi di MS sono gli stessi previsti per le opere strategiche di nuova edificazione. Nel caso di interventi di semplice miglioramento sismico in siti già oggetto di studi di MS, questi possono essere utilizzati purché almeno di livello 2.

1.9.4 PROCEDURE ATTUATIVE

1.9.4.1 VALUTAZIONE DEL GRADO DI AFFIDABILITÀ DEI DATI

Il progettista è responsabile dei dati che assume sia autonomamente sia dalla bibliografia, sia dalle indagini specificamente eseguite. Nel caso in cui utilizzi dati provenienti dallo studio di MS, ha la responsabilità di controllare la corrispondenza della situazione del sito di costruzione con quella della zona omogenea descritta dallo studio di MS. Evidenti difformità vanno notificate, documentandole secondo standard regionali, al soggetto realizzatore dello studio ed all'ente di controllo del progetto e al soggetto validatore.

1.9.4.2 TEMPI DI ATTUAZIONE

La Regione regola le modalità di applicazione dei risultati dello studio di MS ai processi di progettazione o costruzione in corso, eventualmente tenendo conto delle differenti tipologie di opere.

1.9.4.3 ELABORAZIONI E RISULTATI

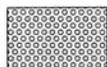
Le modalità di rappresentazione dei risultati del progetto che interagiscono o fanno uso dei risultati di MS dovranno conciliare quanto richiesto dalle norme tecniche e dagli organi di controllo, con quanto disponibile dagli studi di MS. Dovrà essere chiaramente indicato nel progetto l'elaborato di MS al quale si è fatto riferimento per ogni specifico aspetto (amplificazione locale o deformazioni permanenti), citato il punto considerato e gli eventuali criteri di estensione al sito specifico. Nella relazione sulle fondazioni si riporteranno gli stralci dello studio di MS pertinenti al sito, si individueranno le zone omogenee in cui esso ricade e si evidenzieranno le sezioni litostratigrafiche di interesse e gli approfondimenti specifici effettuati per assicurare la conformità della situazione rilevata alla caratterizzazione della zona omogenea nella MS³⁸.

³⁸ Restano salvi gli approfondimenti necessari per la progettazione secondo gli standard di norma (caratterizzazione meccanica dei terreni, ecc.).

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRIESTE	
CONVENZIONE n° 2723	
STUDIO DI MICROZONIZZAZIONE DELL'AREA DI TARENTO	
PROPOSTA DI MICROZONIZZAZIONE	
Allegato 16	Trieste, dicembre 1978

LEGENDA

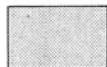
zona A



zona B



zona C



zona D

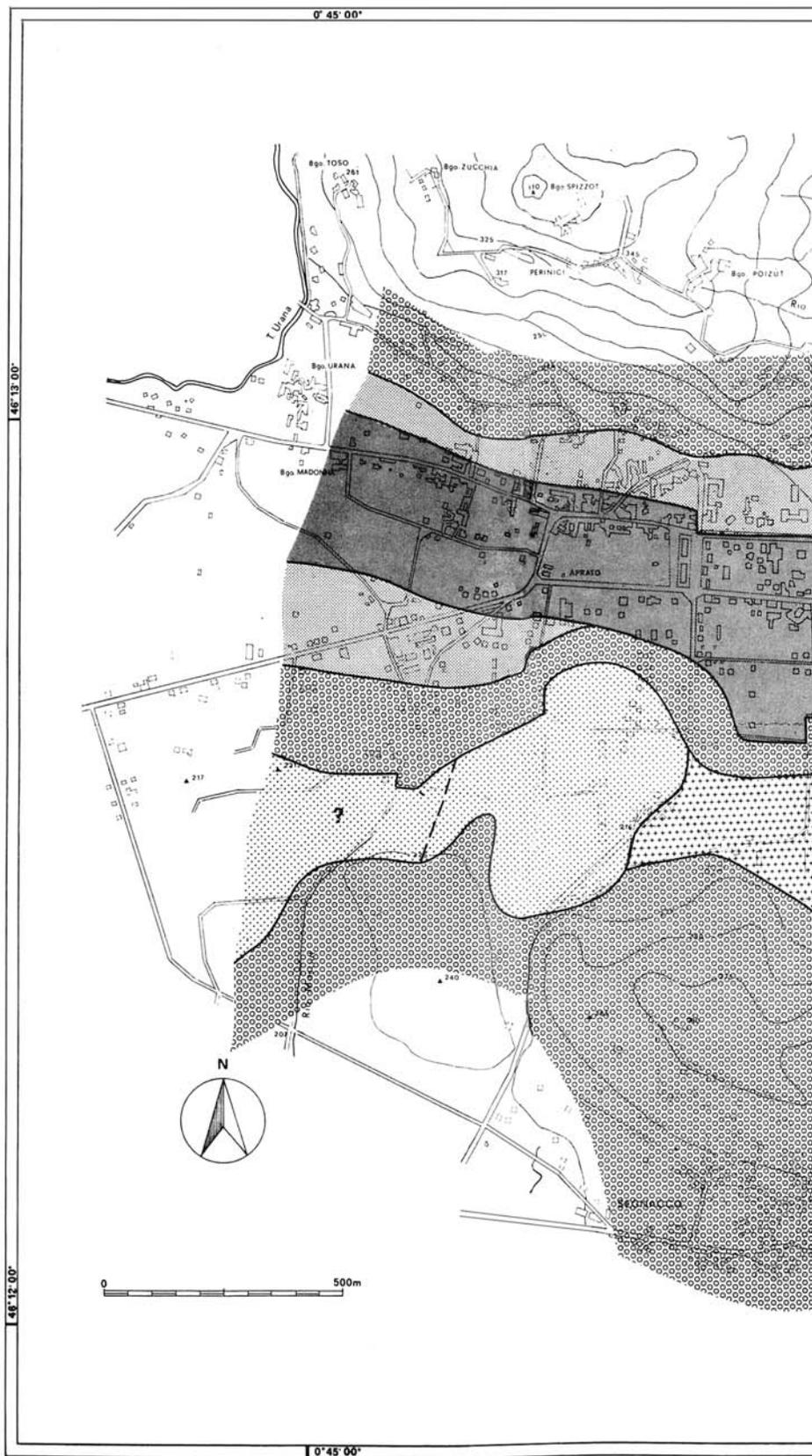


zona E

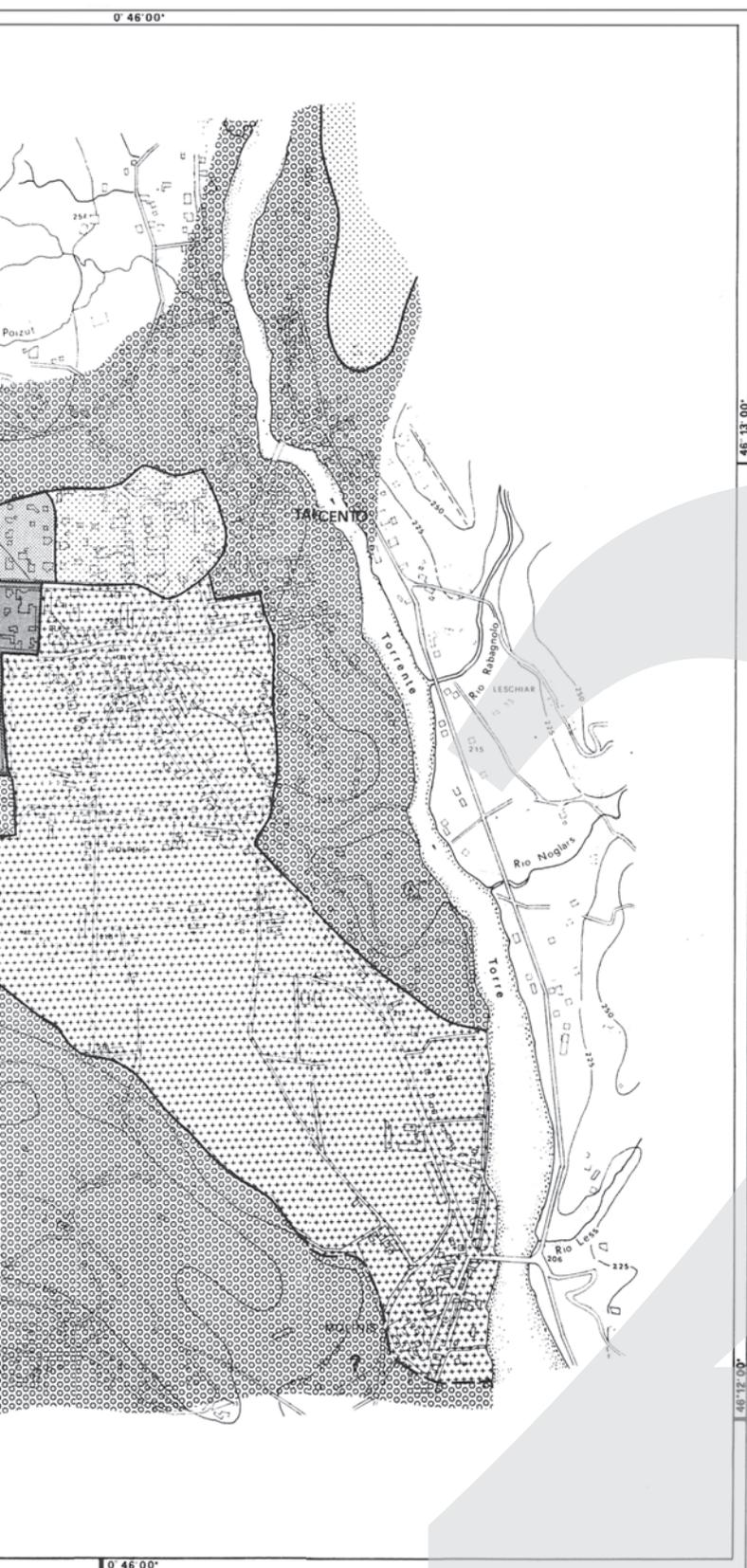


	ϵ_1	ϵ_2
zona A	1,0	1,0
zona B	1,6	1,0
zona C	1,0	1,3
zona D	1,3	1,3
zona E	1,0	1,6

coefficienti locali di
maggiorazione per le
azioni sismiche di
progetto



Linee guida



Studio di microzonazione dell'area di Tarcento (UD). (CNR - PFG, 1986).

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_v).
- 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_v) - 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_d). Il modulo di taglio (G_d) 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 risalire 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 rigidità 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 georeferenziate 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

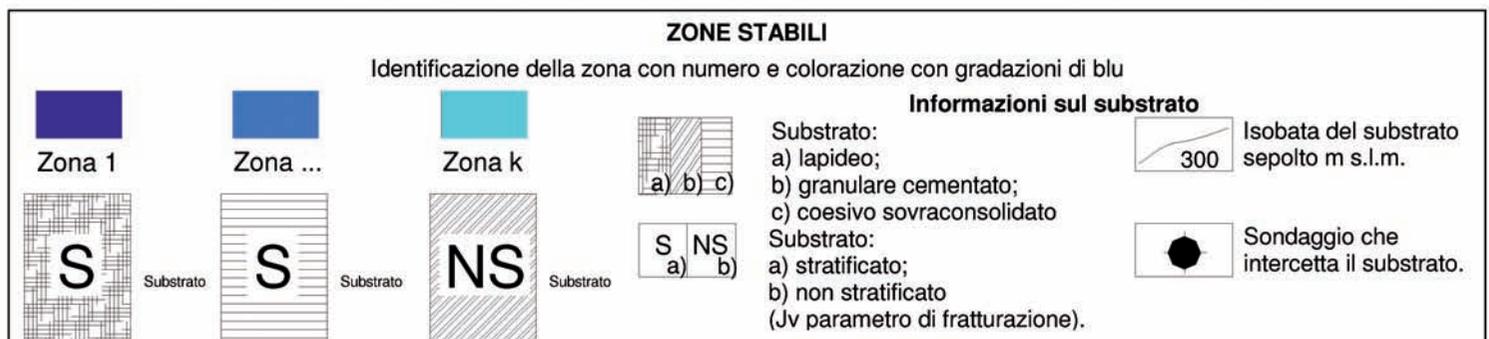
Le aree da cartografare sono individuate nell'ambito di confronti tra il soggetto realizzatore degli studi di MS e il soggetto proponente (generalmente rappresentato dai responsabili della pianificazione territoriale e della pianificazione per l'emergenza). La delimitazione concordata è comunque da considerare 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:

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

2.3.3 LEGENDA E CAMPO CARTA



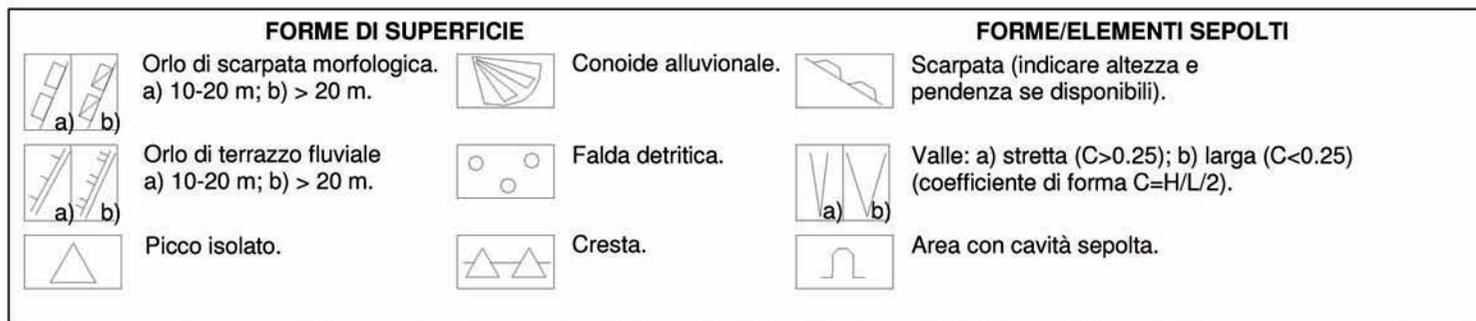
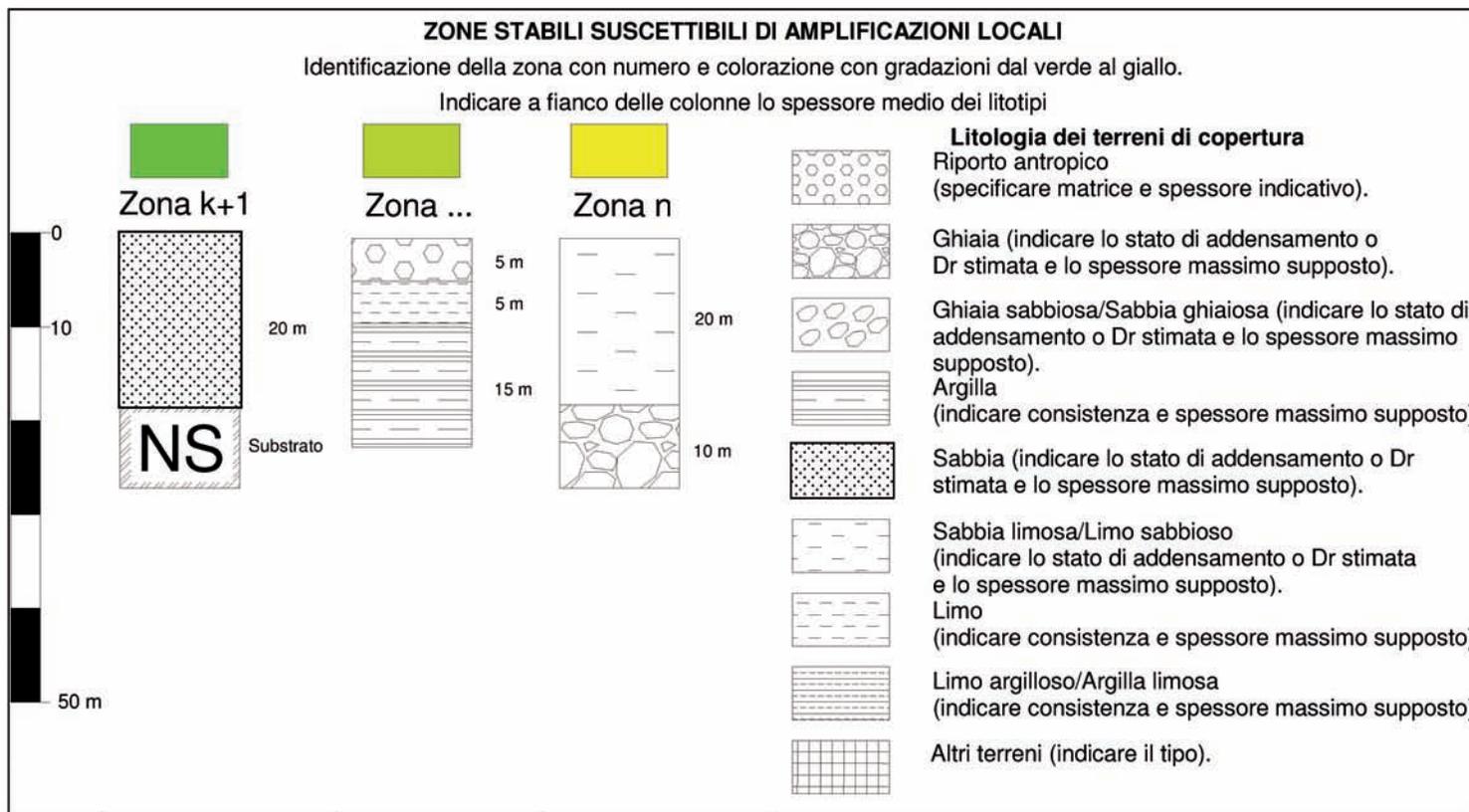


Figura 2.3-1 - Legenda della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica.

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: sì/no (differenza evidenziata con indici S e NS);
- grado di fratturazione; differenza in base a parametro J_v (si noti che zone con $J_v > 10-15$ 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 $< 15^\circ$) 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_i - 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_i - 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_i - 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:

- 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 $> 15^\circ$ 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 $> 30^\circ$).
- 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.
- 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)	<i>Terreni(T): max spostamento (cm)</i> <i>Roccia(R): max distanza blocchi (m)</i> 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_i)	Potenziale di liquefazione LI Es. $LI_1 = 7$... Es. $LI_n = 18$		
Cedimenti differenziali (CD_2)	(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 $J_v > 10-15$ 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. *FRT₃* oppure *FRR₄*) 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. *LI₃*) 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 aggravii 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 aggravii 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 litostratigrafica si intende realizzata quando un terreno rigido sovrasta stratigraficamente un terreno meno rigido (soffice) con un rapporto $V_{s\text{ rig}}/V_{s\text{ sof}} > 2$, 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 $\alpha < 15^\circ$ 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 ($T_{rit} = 475$). 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 una 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

- Si determina il periodo di massimo valore dello spettro di input (TA_i) e di quello di output (TA_o);
- Si calcolano il valori medi degli spettri di input ($SA_{m,i}$) e di output ($SA_{m,o}$) nell'intorno di TA_i e TA_o

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

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_i) 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 ($SV_{m,i}$) e ($SV_{m,o}$) 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 $SV_{m,i}$ o $SV_{m,o}$

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 $SA_{m,o} / SA_{m,i}$

f. Il valore di FV è pari al rapporto $SV_{m,o} / SV_{m,i}$

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

- Si determinano gli spettri di risposta elastici degli accelerogrammi di input e di output.
- Ci si riconduce al caso precedente regolarizzando⁴¹ 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 2.5.3.2, 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 chiaramente 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

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

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 geologico⁴²;

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 conoscenza 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 Occorre 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_{sH} 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 $\alpha > 10^\circ$, i dati di ingresso e per l'utilizzazione degli abachi, da parte del soggetto realizzatore della MS, sono:

- 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.
- 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.

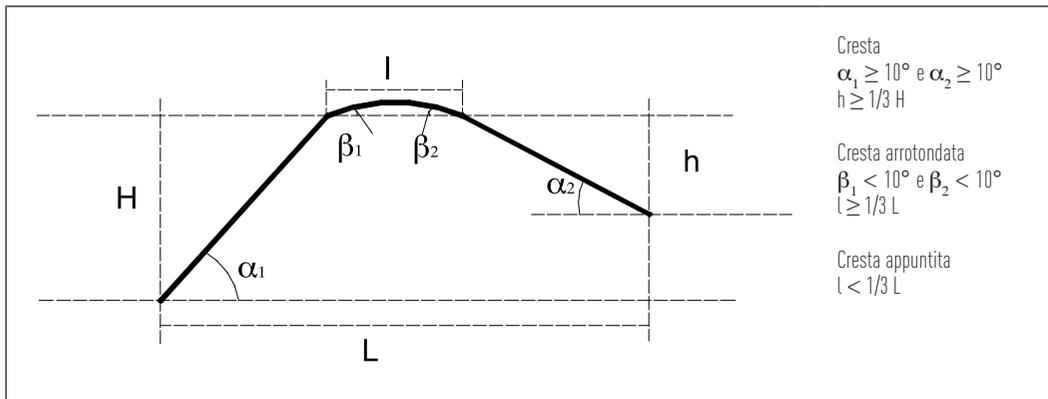


Figura 2.5-1 – Schema di riferimento per la cresta e criteri di riconoscimento.

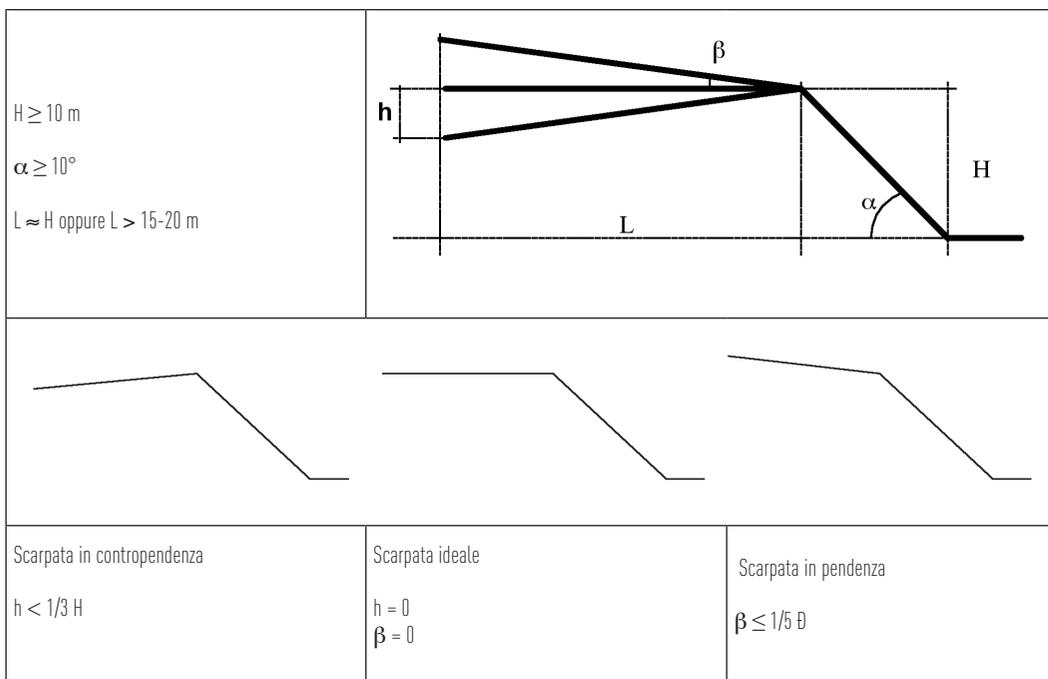


Figura 2.5-2 – Schemi di rifernto per la scarpata e criteri di riconoscimento.

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 involuppato da uno spettro standard avente il ramo ad accelerazione costante pari a $SA_{m,i}$ e il ramo a velocità costante pari a $SV_{m,i}$.

- 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 cyclic 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:

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

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. Altri 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 Cavallera 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)

$$K_c = \frac{A_1 + A_2 - A_3 + A_4}{A_5} \quad (2.6-1)$$

dove:

$$A_1 = c'/\cos\alpha$$

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

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

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

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

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)

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

dove:

$$B_1 = c' H / \sin \theta$$

$$B_2 = W (\cos \theta \tan \phi' - \sin \theta)$$

$$B_3 = U \sin \theta$$

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

$$B_5 = W (\cos \theta + \sin \theta \tan \phi').$$

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

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

dove:

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

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

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

$$C_4 = w_{ij} r \sin \theta_i$$

$$C_5 = w_i y_{Gi}$$

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 i-esima 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.

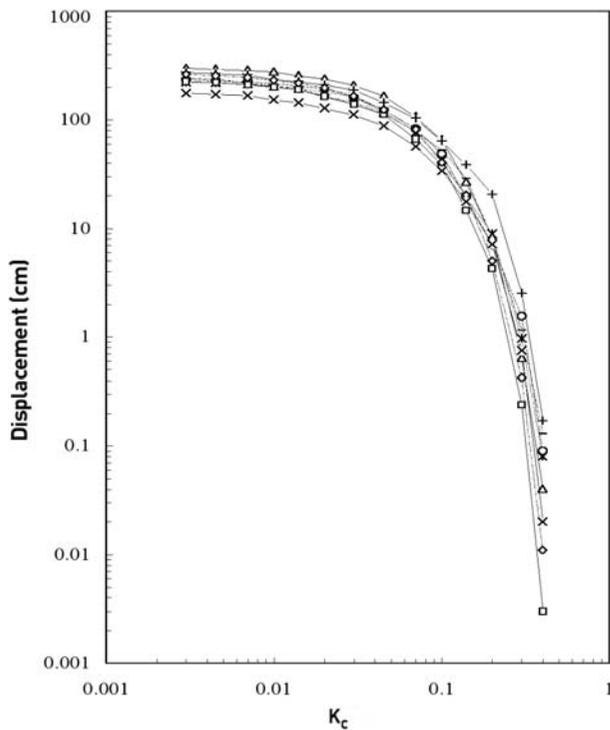


Figura 2.6-1 - Spostamento permanente indotto-coefficiente sismico critico per otto accelerogrammi artificiali spettro compatibili su suolo rigido A, zona sismica 2, per il caso del pendio indefinito. (Cavaleri e Brancucci, 1995).

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:

$$\log_{10} D = -1.281 + 0.648M - 0.934 \log_{10} \sqrt{RE^2 + 3.5^2} - 3.699K + 0.225S \pm 0.418 \quad (2.6-4)$$

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 < 20 m)

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:

$$a_c = (FS - 1)g \cdot \sin \psi_p \quad (2.6-5)$$

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 geomorfologiche relative alla presenza di depositi detritici di versante che attestino, inoltre, lo stato di attività dei fenomeni di frana eventualmente riconosciuti.

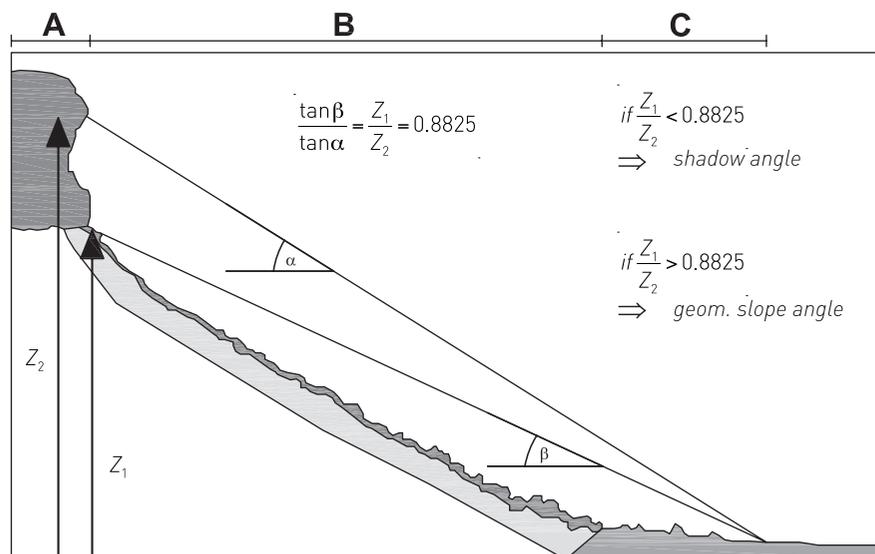


Figura 2.6-2 – Parametri del terreno per l'applicazione del metodo di Onofri e Candian (1979).

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 espansione, 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 $\phi_p = 27.15^\circ$ 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.

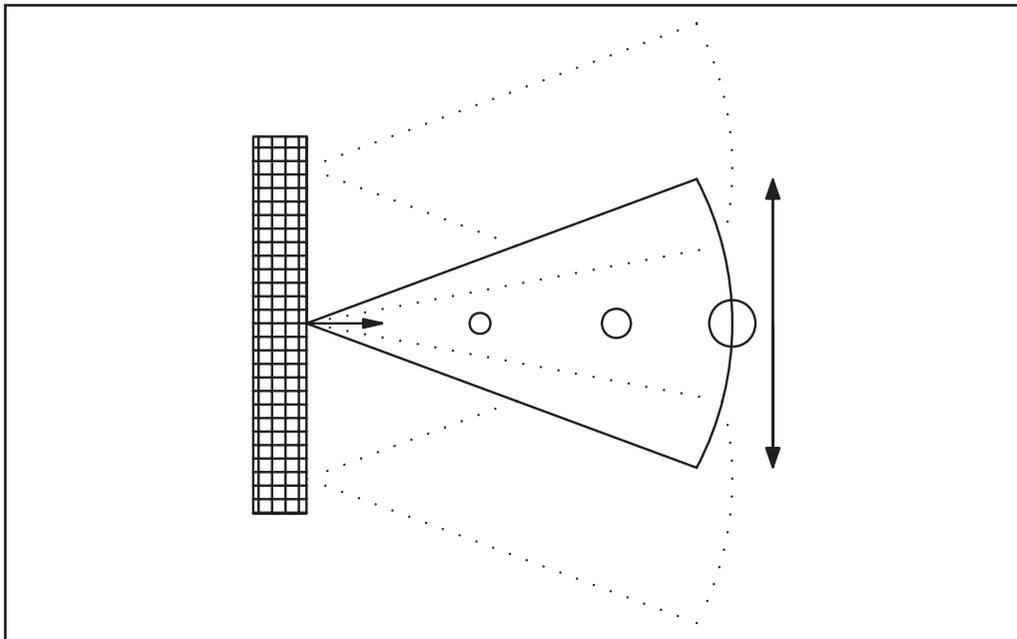


Figura 2.6 3 – Vista in pianta del cono d'ombra che contiene la traiettoria di caduta più probabili.

La metodologia proposta di seguito è del tutto indicativa e necessita di approfondimenti per ogni caso specifico.

Scheidegger (1973) fornisce la formula:

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

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_g), secondo la formula:

$$R_g = 9.98 * V^{0.33}$$

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 Geotechnical 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 (susceptibilità dei terreni).

La susceptibilità 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} 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} .

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 condizioni⁴⁴:

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 fine⁴⁵, 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 campagna⁴⁶.

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

$$F_L = \frac{CRR}{CSR} \cdot MSF \quad \text{dove:}$$

$$CRR = \frac{\tau_{ult}}{\sigma'_{v0}}$$

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;

$$CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 \frac{a_{maxs}}{g} \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} r_d$$

è la tensione indotta dal terremoto

dove:

a_{maxs} 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 attesi⁴⁸.

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:

$\Delta H = \epsilon_v H$, dove H è l'altezza dello strato liquefacibile ed ϵ_v (%) è la deformazione volumetrica

$$\epsilon_v = \frac{\alpha C_r}{1 + e_0} \log \left(\frac{1}{1 - \frac{\Delta u}{\sigma'_0}} \right)$$

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 interstiziale⁴⁹.

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:

$$\frac{\Delta u_N}{\sigma'_0} = \frac{2}{\pi} \cdot \sin^{-1} \left[\left(\frac{N}{N_L} \right)^{1/2a} \right]$$

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 γ_{max} indotta dal terremoto;
- l'ampiezza della deformazione di taglio massima γ_{max} può essere valutata con l'espressione

$$\gamma_{max} = 0.65 \frac{a_{maxs}}{g} \sigma_v r_d \frac{1}{G}$$

dove:

a_{maxs} 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 $r_d = 1 - 0.015z$; 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: $\frac{\Delta u}{\sigma'_0} = F_L^{-7}$.

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):

$$a = 0.96 \cdot D_r^{0.83} \cdot \epsilon_0$$

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

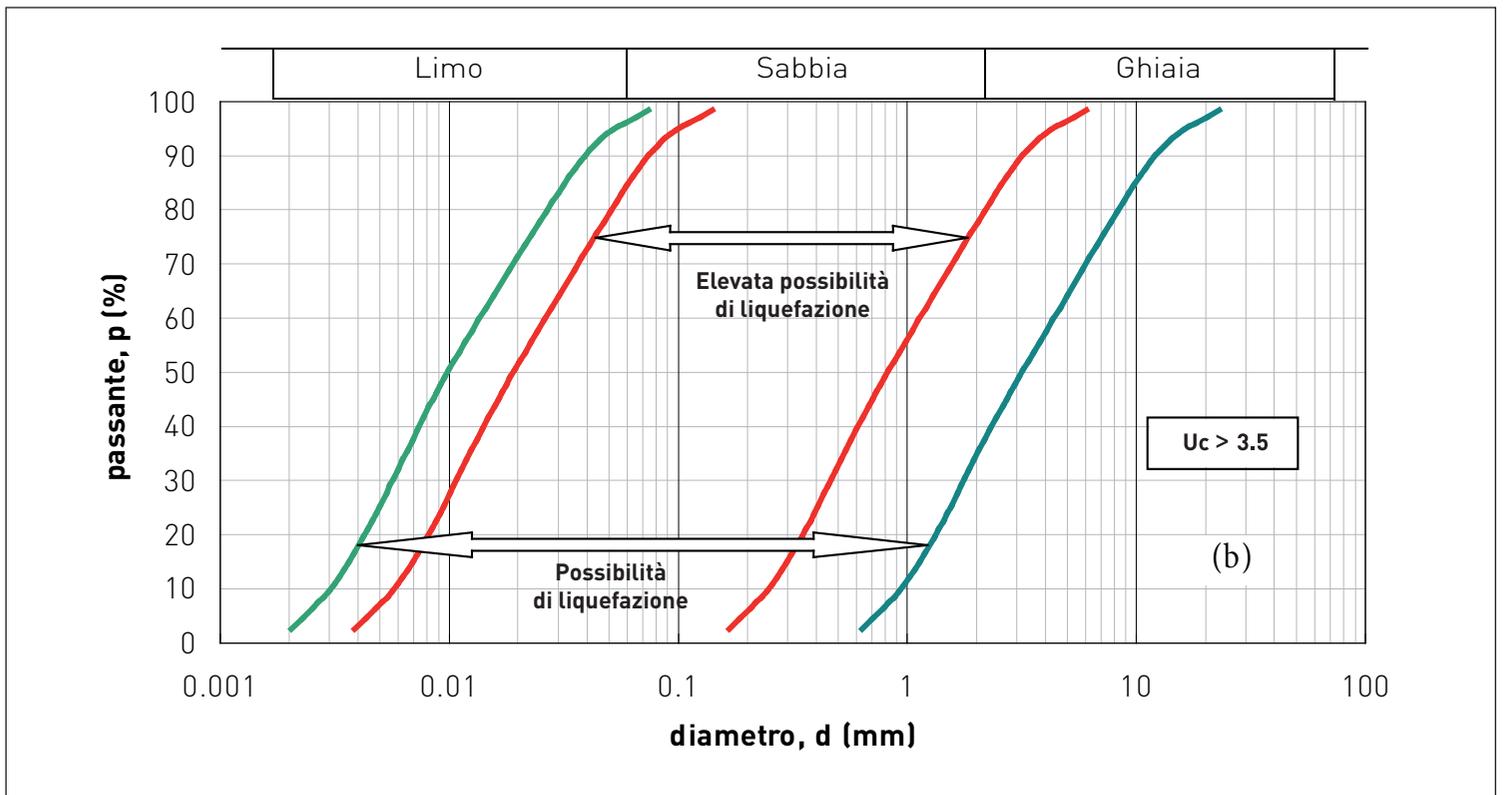
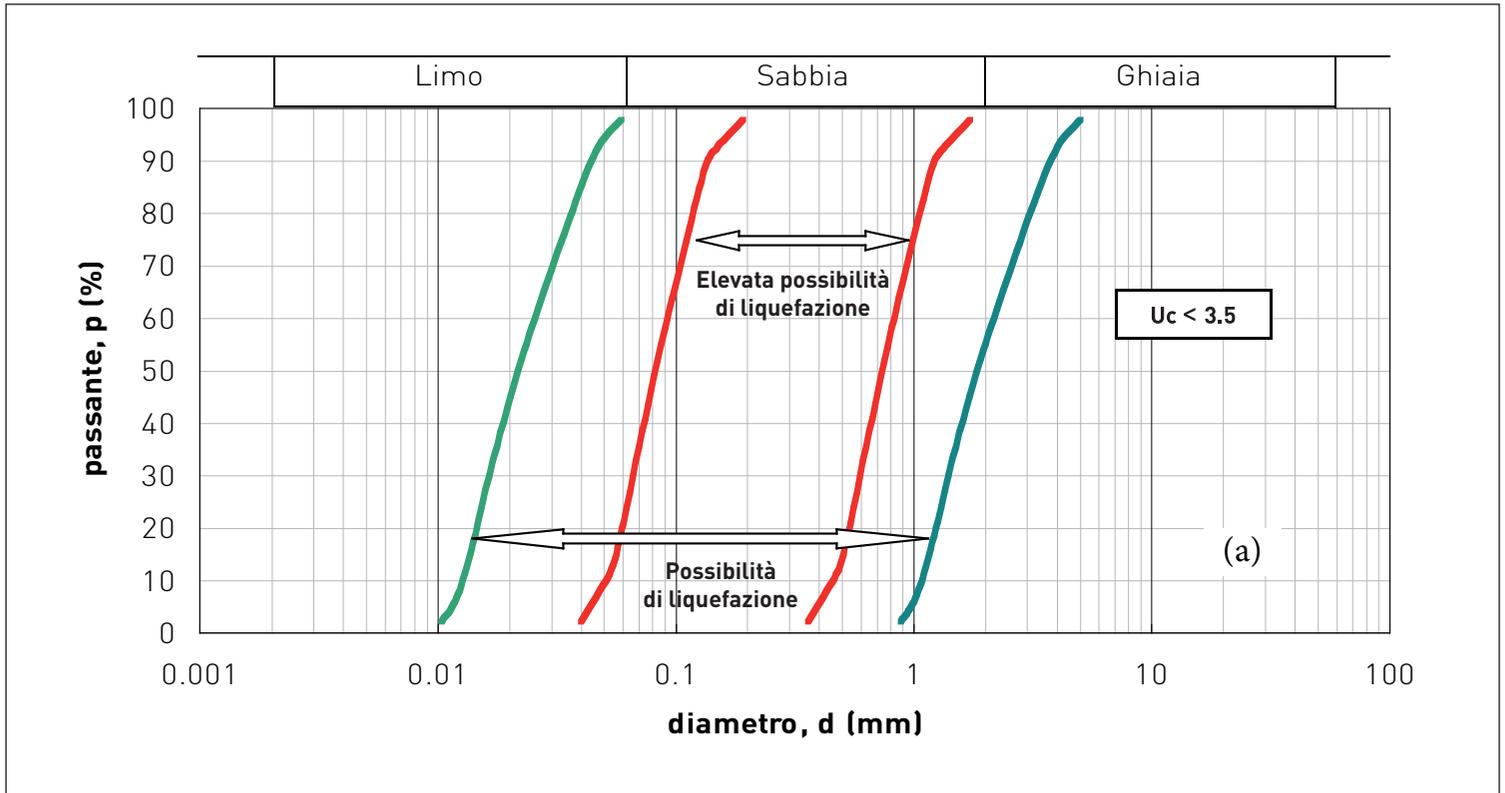


Figura 2.7-1- Fasce granulometriche per la valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione di un terreno per i terreni a granulometria uniforme (a) ed estesa (b) (da AGI, 2005).

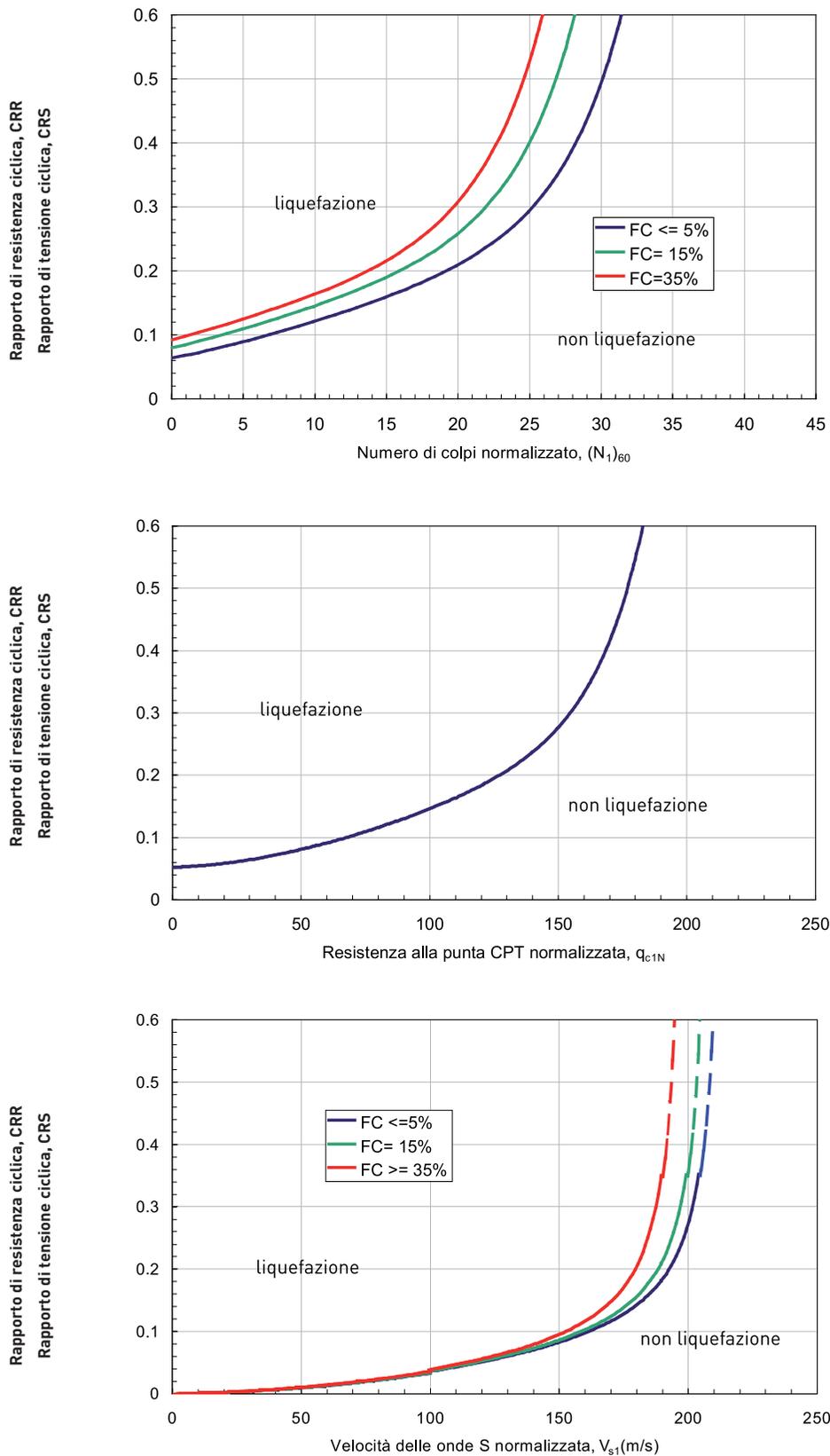


Figura 2.7-2 - Carte per la stima della resistenza normalizzata alla liquefazione *CRR* di un terreno sabbioso saturo in funzione della percentuale di fino *FC* e sulla base dei valori di *N_{SPT}*, *q_c* e *V_s* corretti.

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} C_N C_E C_B C_R C_S$$

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

$$C_E C_B C_R C_S \approx 1$$

$$q_{c1N} = C_Q \frac{q_c}{p_a}$$

dove:

p_a (pressione atmosferica di riferimento ≅ 100 kPa) e *σ'_v* sono espresse nelle stesse unità di misura

$$C_Q = \left(\frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^{1.338 - 0.294 (q_{c1N})^{0.264}}$$

$$v_{s1} = C_V v_s$$

dove:

p_a (pressione atmosferica di riferimento ≅ 100 kPa) e *σ'_v* sono espresse nelle stesse unità di misura

$$C_V = \left(\frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^{0.25}$$

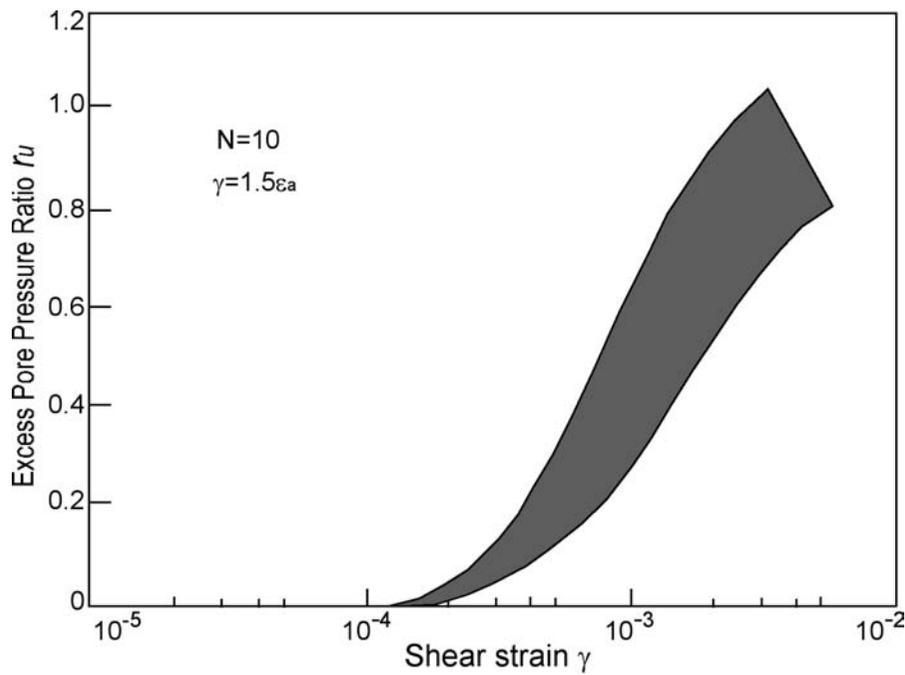


Figura 2.7-3 –Valore del rapporto di pressione interstiziale r_u in funzione della deformazione di taglio massima indotta dal terremoto

$$\gamma_{\max} = 0.65 \frac{a_{\max s}}{g} \sigma_v r_d \frac{1}{G}$$

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^{-2}	0.2
1×10^{-1}	0.4
2×10^{-1}	0.6
4×10^{-1}	0.8
5×10^{-1}	0.95

Tabella 2.7-3 – Fattore di riduzione del modulo di taglio G nei primi 20 m in funzione dell'accelerazione $a_{\max s}$

$a_{\max s}$ [g]	G/G_0
0.10	0.80
0.20	0.50
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 sovrappressioni 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 sismogenetiche 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 $M_s = 1 + 3 \log(R_i)$. 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 sito⁵¹.

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 magnitudo⁵².

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 $\overline{M-R}$ 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.

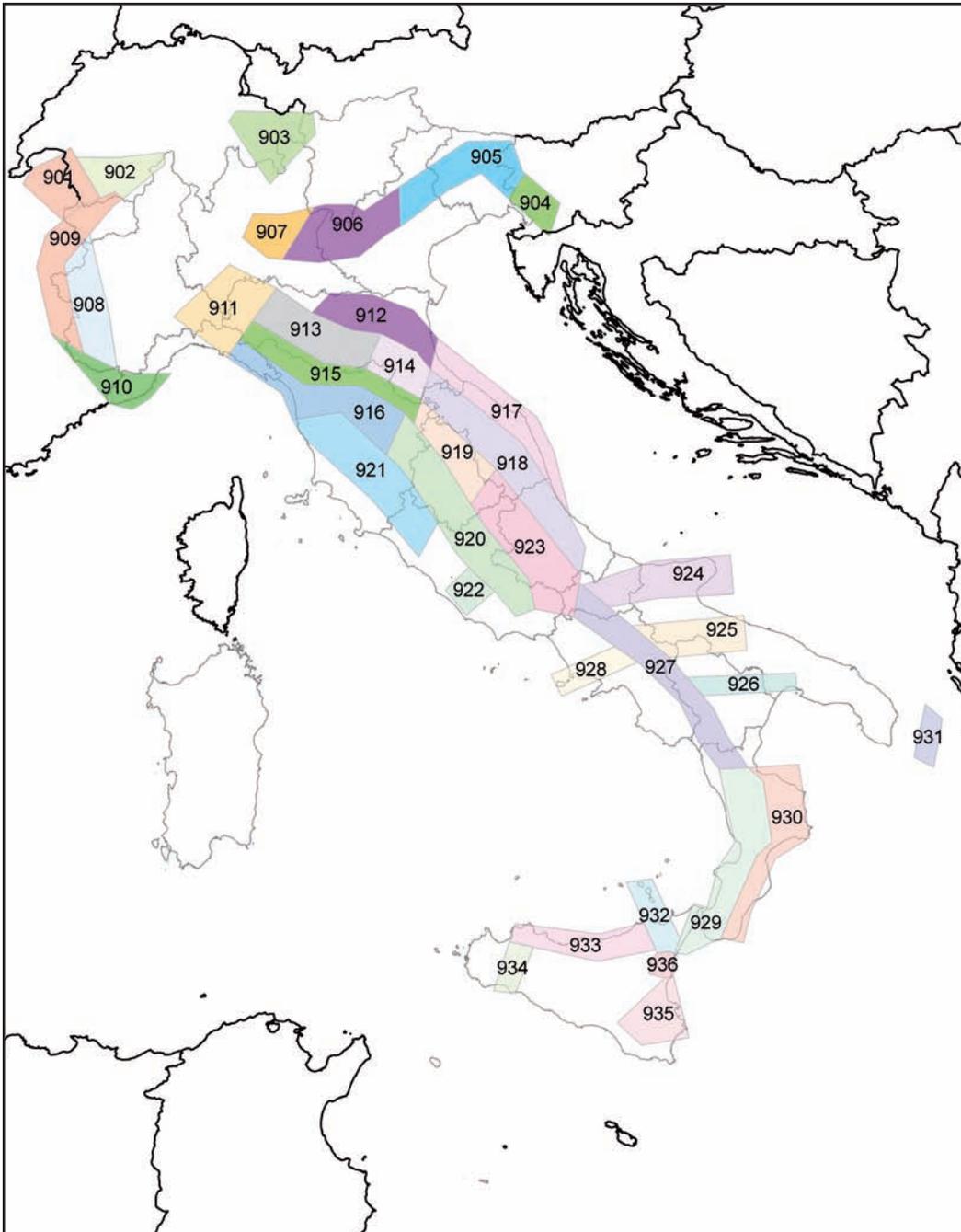


Figura 2.8-1 - Zone sismogenetiche per la mappa di pericolosità sismica di base di riferimento (Gruppo di lavoro, 2004).

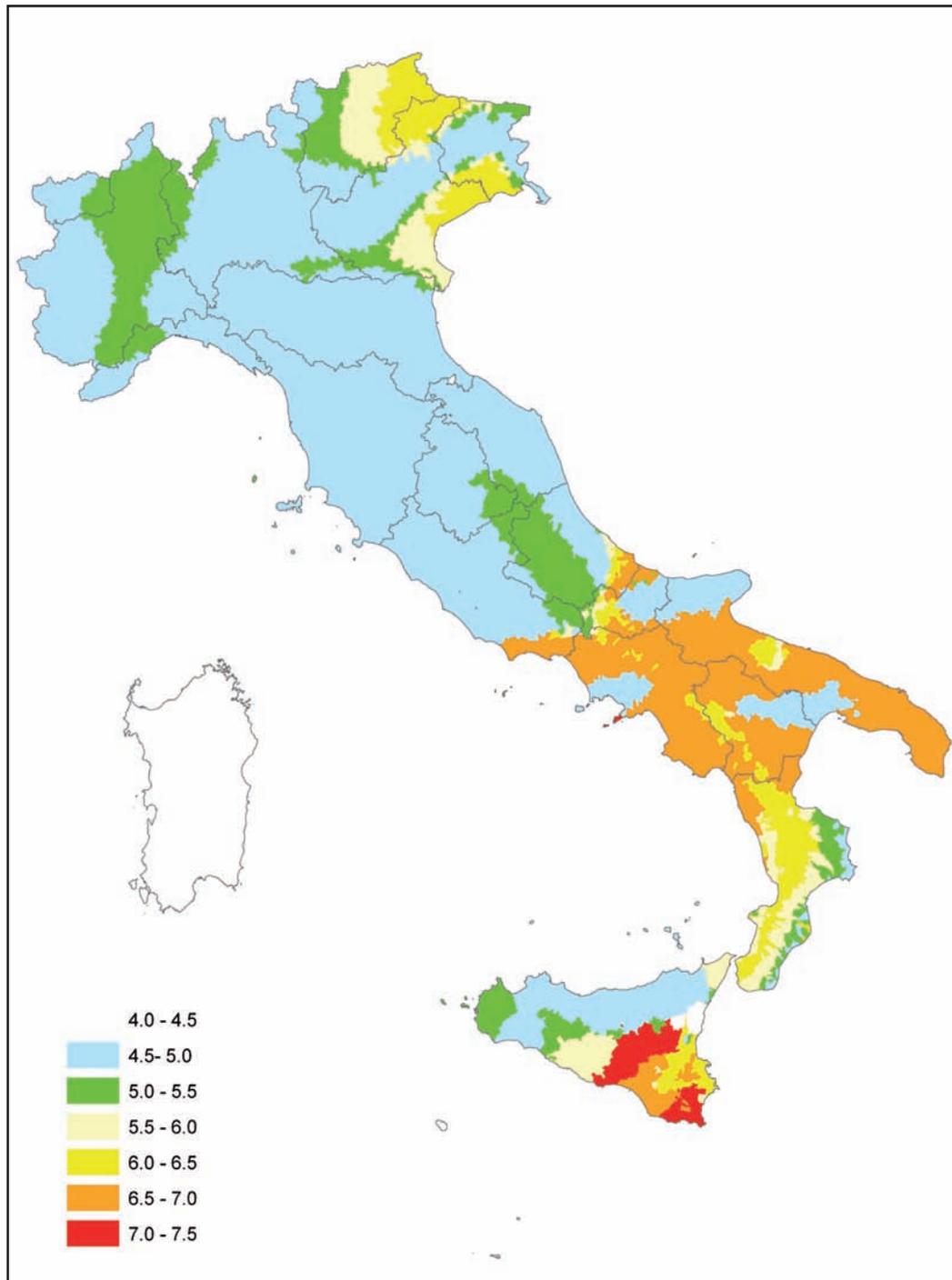


Figura 2.8-2 - Valori modali di M per comune, ottenuti a seguito della disaggregazione della pericolosità con periodi di ritorno di 475 anni (elaborazione su dati da Spallarossa e Barani, 2007).

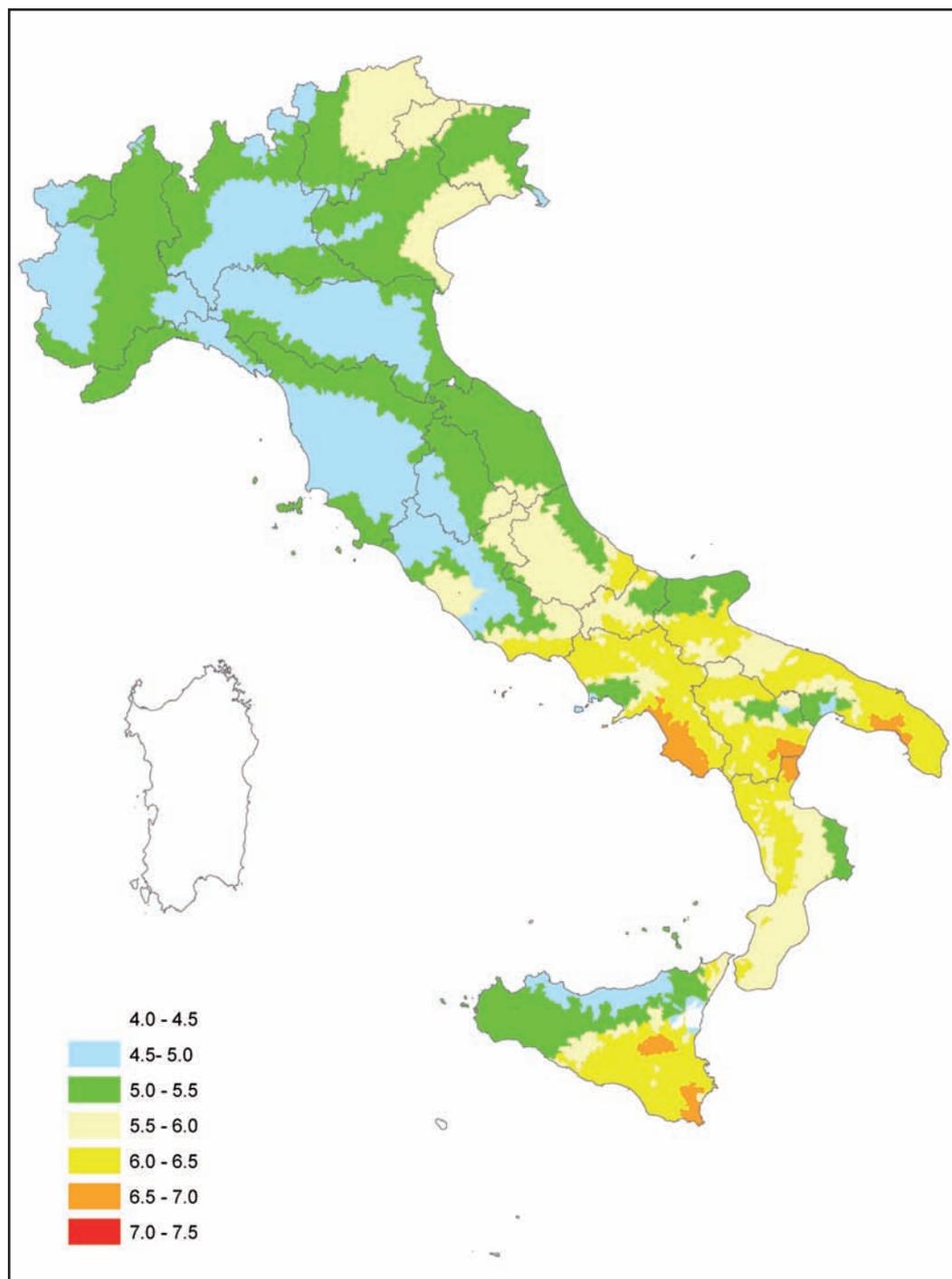


Figura 2.8-3 - Valori medi di M per comune, ottenuti a seguito della disaggregazione della pericolosità con periodi di ritorno di 475 anni (elaborazione su dati da Spallarossa e Barani, 2007).

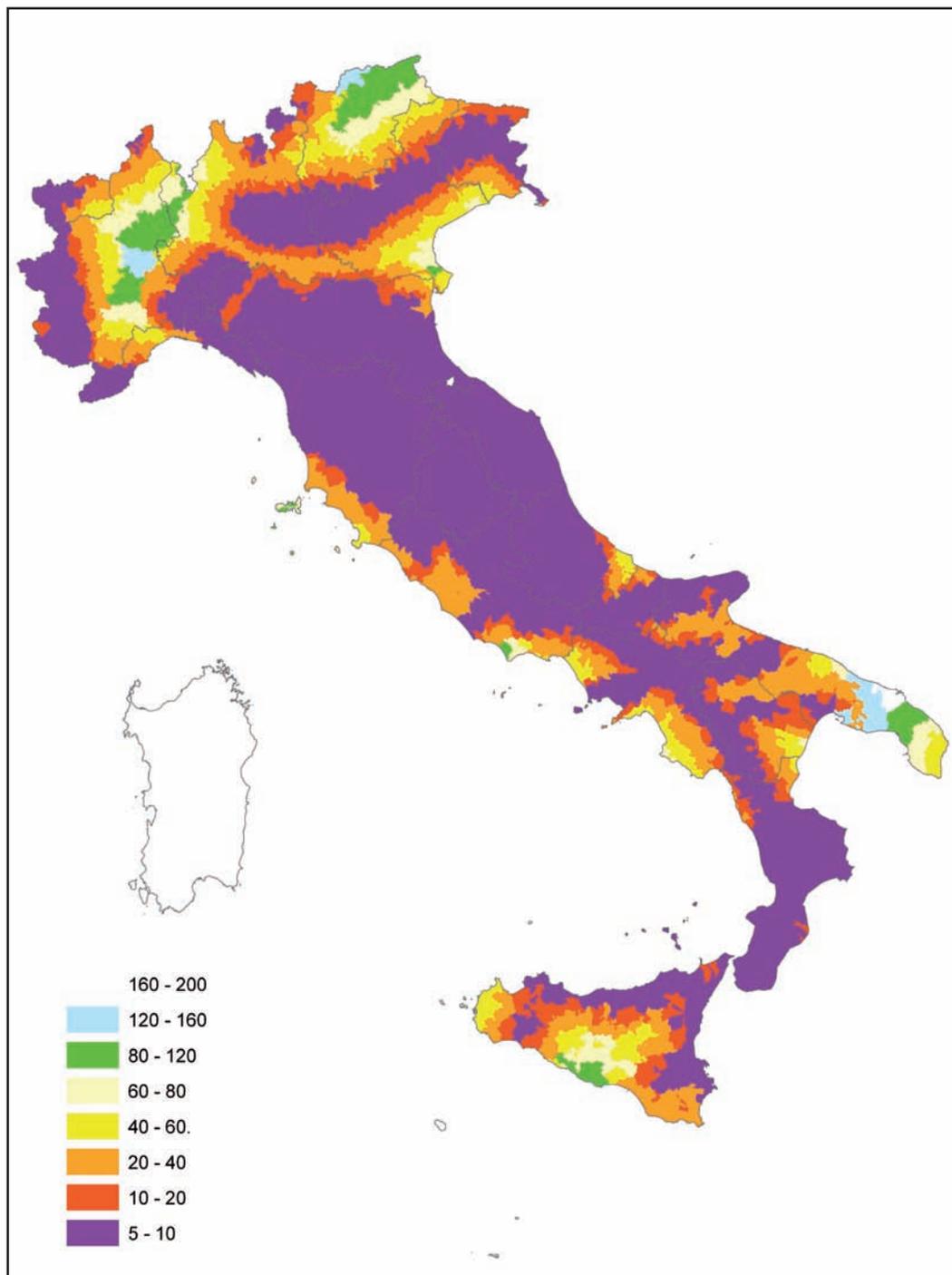


Figura 2.8-4 - Valori modali di R per comune, ottenuti a seguito della disaggregazione della pericolosità con periodi di ritorno di 475 anni (elaborazione su dati da Spallarossa e Barani, 2007).

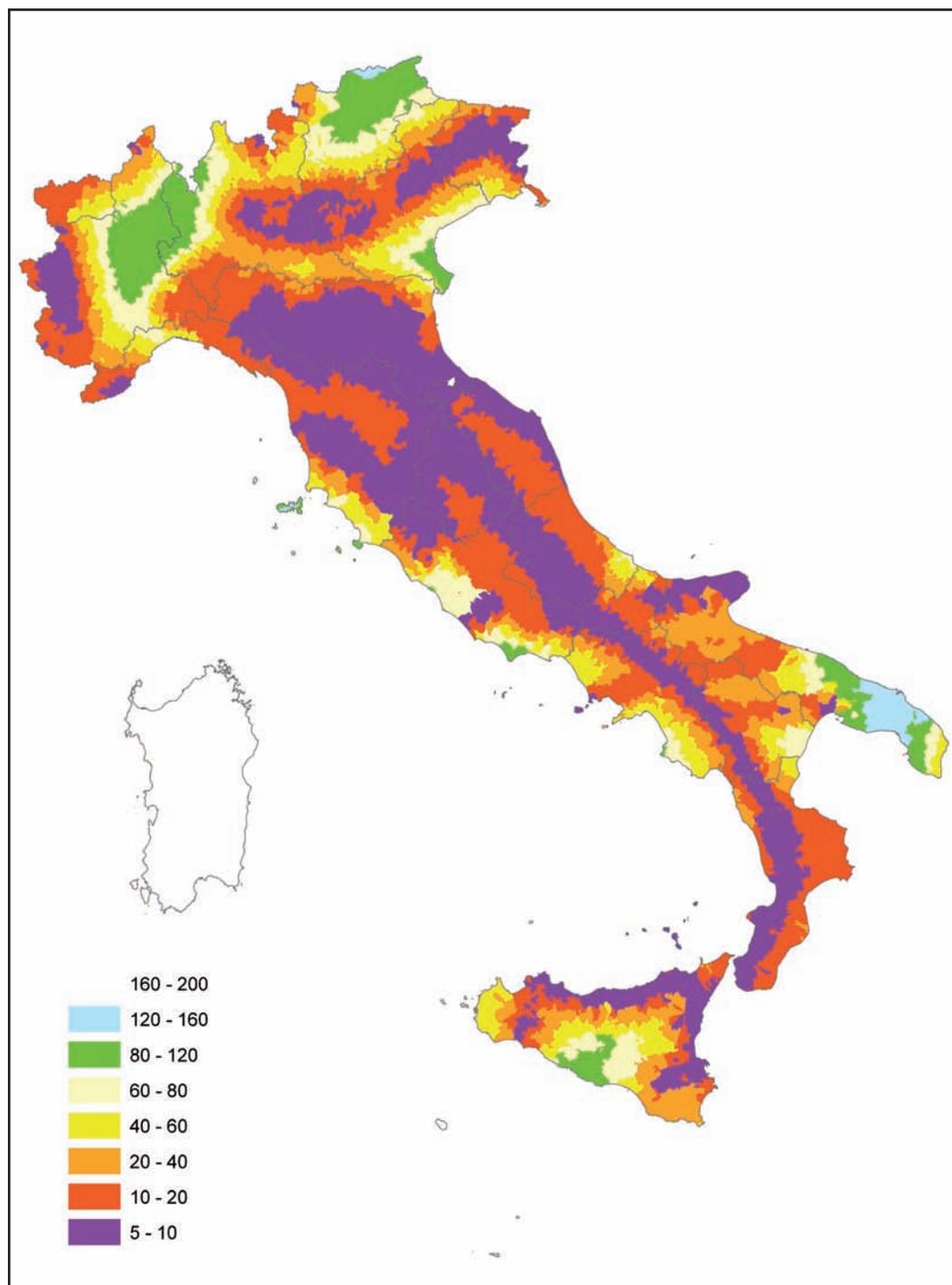


Figura 2.8-5 - Valori medi di R per comune, ottenuti a seguito della disaggregazione della pericolosità con periodi di ritorno di 475 anni (elaborazione su dati da Spallarossa e Barani, 2007).

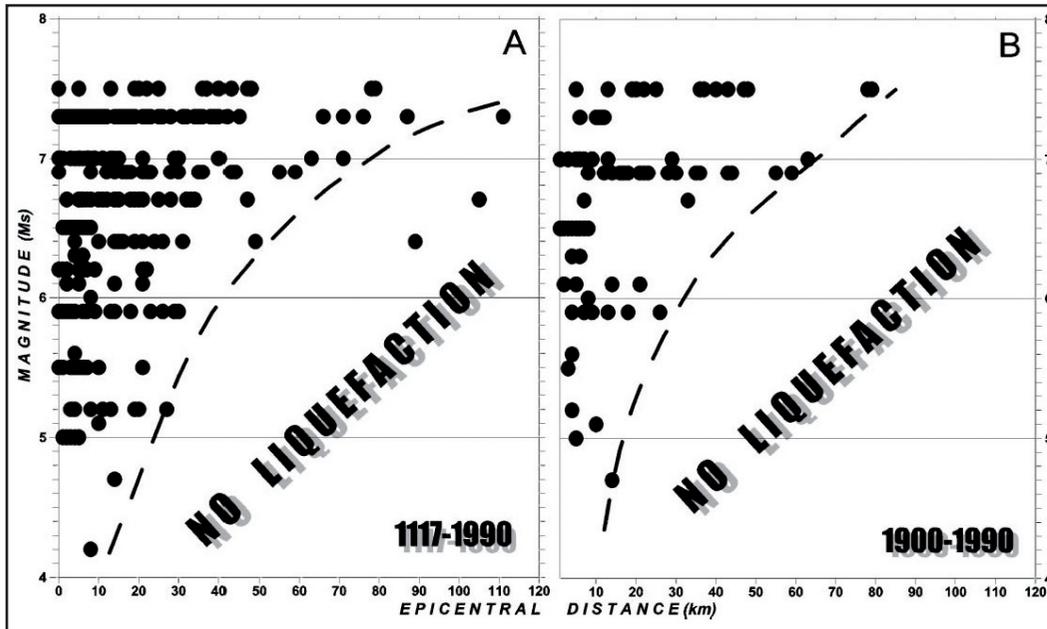


Figura 2.8-6 - Casi osservati di fenomeni di liquefazione in termini di M_s e distanza epicentrale (da Galli, 2000).

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 SI*, <http://esse1.mi.ingv.it/d14>.

Indice dei contenuti del Dvd

- **Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica**

- Indirizzi e criteri – Linee guida
- Appendice
- Glossario
- Esempi di cartografie

- **Sistema informativo geografico**

- Dati comunali
- Installazione ArcReader
- Tutorial ArcReader

- **Banca dati**

- Accelerogrammi
- Curve di decadimento
- Pericolosità
- Vulnerabilità/Esposizione
 - Tabelle di sintesi
 - Dati comunali
- Rischio

- **Nota sui contenuti del Dvd**

Nel DVD sono riportati gli Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica predisposti dall'apposito Gruppo di lavoro istituito dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome e dal Dipartimento della protezione civile (Presidenza del Consiglio dei Ministri).

Sono inoltre riportati: gli accelerogrammi e le curve di decadimento utilizzati per la predisposizione degli abachi dei fattori di amplificazione stratigrafica; i valori massimi delle ordinate spettrali e dei parametri della normativa tecnica per le costruzioni (a_g , F_0 e T_c) per i comuni e per le località abitate, per i vari periodi di ritorno; i valori medi e modali di M e R (magnitudo e distanza) ottenuti a seguito della disaggregazione della pericolosità; i dati di base relativi alla vulnerabilità e all'esposizione (abitazioni e popolazione residente) a livello comunale elaborati dai dati del censimento Istat 2001; le zone sismiche e gli indici di rischio comunali.

E' possibile consultare e scaricare i vari data base ed è possibile visualizzare e interrogare le mappe con i confini comunali, utilizzando il programma ArcReader.



Dipartimento della Protezione Civile

Via Ulpiano, 11 - Via Vitorchiano, 4 - Roma

www.protezionecivile.it