

a cura del Centro per la Microzonazione Sismica e le sue applicazioni

**Protocolli di acquisizione  
ed elaborazione dati relativi  
alle attività di Microzonazione  
Sismica di livello 3  
in Italia Centrale**

2020

**CONVENZIONE**

- Commissario straordinario del Governo per la ricostruzione sisma 2016
- Centro per la Microzonazione Sismica e le sue applicazioni

**BOOKMS**

Collana a cura del **Centro MS**

**CNR Edizioni**

STRATEGIE DI MITIGAZIONE



a cura del Centro per la Microzonazione Sismica e le sue applicazioni

**Protocolli di acquisizione  
ed elaborazione dati relativi  
alle attività di Microzonazione  
Sismica di livello 3  
in Italia Centrale**

**CONVENZIONE**

- Commissario straordinario del Governo per la ricostruzione sisma 2016
- Centro per la Microzonazione Sismica e le sue applicazioni

**BOOKMS**

Collana a cura del **Centro MS**

**CNR Edizioni**

STRATEGIE DI MITIGAZIONE

#### CONVENZIONE TRA

- Commissario straordinario del Governo per la ricostruzione sisma 2016
- Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria del Consiglio Nazionale delle Ricerche (per il Centro per la Microzonazione Sismica e le sue applicazioni).

#### Supporto e coordinamento tecnico-scientifico per le attività di microzonazione sismica dei territori colpiti dagli eventi sismici a far data dal 24 agosto 2016.

#### RESPONSABILI SCIENTIFICI

- Massimiliano Moscatelli
- Francesco Stigliano

#### GRUPPO DI LAVORO

Dario Albarello  
*Presidente del Comitato di Indirizzo del CentroMS UNISI-DSFTA*

Gabriele Scarascia Mugnozza  
*Presidente del Comitato di Indirizzo del CentroMS, UNIROMA1-DST (da gennaio 2015 a febbraio 2018)*

Paolo Messina  
*CNR IGAG direttore fino al 30 novembre 2018*

Massimiliano Moscatelli  
*Responsabile scientifico del CentroMS, CNR IGAG*

Francesco Stigliano  
*CNR IGAG*

Iolanda Gaudiosi  
*CNR IGAG*

Edoardo Peronace  
*CNR IGAG*

Maria Chiara Cacioli  
*CNR IGAG*

Carolina Fortunato  
*CNR IGAG*

Sara Amoroso  
*UNICH-PE-INGEO - INGV*

Salomon Hailemichael  
*ENEA*

#### ATTIVITÀ ISTRUTTORIA DEGLI STUDI MS

Monia Coltella  
*CNR IGAG*

Andrea Pietrosante  
*CNR IGAG*

#### COORDINATORI UNITÀ OPERATIVE

Dario Albarello  
*UNISI-DSFTA*

Marco Amanti  
*ISPRA*

Stefano Catalano  
*UNICT-DSBGA*

Giuseppe Cosentino  
*CNR IGG*

Vincenzo Di Fiore  
*CNR ISPC*

Giuseppe Lanzo  
*UNIROMA1-DISG*

Lucia Luzi  
*INGV*

Salvatore Martino  
*UNIROMA1-DST*

Alessandro Pagliaroli  
*UNICH-PE-INGEO*

Floriana Pergalani  
*POLIMI-DICA*

Enrico Priolo  
*OGS*

#### SEGRETERIA TECNICA DI SUPPORTO

Federica Polpetta  
*CNR IGAG*

Silvia Giallini  
*CNR IGAG*

#### SEGRETERIA AMMINISTRATIVA

Francesca Argiolas  
*CNR IGAG*

Marco Gozzi  
*CNR IGAG*

Martina De Angelis  
*CNR IGAG*

Alessandro Leli  
*CNR IGAG*

Patrizia Mirelli  
*CNR IGAG*

Simona Rosselli  
*CNR IGAG*

#### COORDINAMENTO EDITORIALE

Cristina Di Salvo  
*CNR IGAG*

Federica Polpetta  
*CNR IGAG*

#### PROGETTO GRAFICO E IMPAGINAZIONE

Claudia Illuzzi

#### TRADUZIONE SEZIONE INGLESE

Paul David Blackmore



## Consiglio Nazionale delle Ricerche

La riproduzione, con qualsiasi procedimento, della presente opera o di parti di essa, deve essere preventivamente autorizzata dall'Editore.

**CODICE ISBN** *edizione cartacea*: 978 88 8080 407 9 – *edizione digitale*: 978 88 8080 408 6

© Cnr Edizioni, 2020: Piazzale Aldo Moro 7 – 00185 Roma – [www.edizioni.cnr.it](http://www.edizioni.cnr.it) • [bookshop@cnr.it](mailto:bookshop@cnr.it) • 06 49932287

**DOI:** 10.32053/PROTOCOLLI\_ACQUISIZIONE\_ED\_ELABORAZIONE\_DATI\_RELATIVI\_ALLE\_ATTIVITA\_DI\_MICROZONAZIONE\_SISMICA\_LIVELLO3\_ITALIA\_CENTRALE-2020

[https://doi.org/10.32053/PROTOCOLLI\\_ACQUISIZIONE\\_ED\\_ELABORAZIONE\\_DATI\\_RELATIVI\\_ALLE\\_ATTIVITA\\_DI\\_MICROZONAZIONE\\_SISMICA\\_LIVELLO3\\_ITALIA\\_CENTRALE-2020](https://doi.org/10.32053/PROTOCOLLI_ACQUISIZIONE_ED_ELABORAZIONE_DATI_RELATIVI_ALLE_ATTIVITA_DI_MICROZONAZIONE_SISMICA_LIVELLO3_ITALIA_CENTRALE-2020)

Quest'opera è distribuita con Licenza Creative Commons Attribuzione 4.0 Internazionale



Per citare il presente testo, si raccomanda di utilizzare la seguente dicitura:

**Gruppo di lavoro Protocolli di acquisizione ed elaborazione dati relativi alle attività di Microzonazione Sismica di livello 3 in Italia Centrale, Roma, 2020.**

# sommario

<b>PREMESSA</b>	<b>VI</b>
Dario Albarello e Gabriele Scarascia Mugnozza	p. VI
Massimiliano Moscatelli e Francesco Stigliano	p. VIII

## 01

<b>INTRODUZIONE</b>	<b>X</b>
---------------------	----------

## 02

<b>INDAGINI GEOLOGICHE E GEOMORFOLOGICHE</b>	<b>4</b>
2.1 Premessa	p. 5
2.2 Il substrato	p. 7
2.3 Terreni di Copertura (TC)	p. 10
2.4 Elementi morfologici superficiali e sepolti pertinenti alla pericolosità sismica	p. 11
2.5 Elementi idrogeologici ed instabilità di versante	p. 11
2.6 Sezioni geologiche e geologico-tecniche	p. 13

## 03

<b>LE INSTABILITÀ</b>	<b>16</b>
3.1 Premessa	p. 17
3.2 Definizione delle zone instabili secondo le Linee Guida ICMS	p. 19
3.3 Zone di Attenzione per le Frane ( $Z_{A_{FR}}$ )	p. 19
3.4 Zone di Attenzione per la Liquefazione ( $Z_{A_{LQ}}$ )	p. 22
3.5 Zone di Attenzione per le Faglie Attive e Capaci ( $Z_{A_{FAC}}$ )	p. 24
3.6 Instabilità da sprofondamento	p. 26
3.7 Sintesi operativa	p. 26

## 04

<b>INDAGINI GEOFISICHE DI SUPERFICIE</b>	<b>28</b>
4.1 Premessa	p. 29
4.2 La pianificazione delle indagini e l'uso del metodo dei rapporti spettrali (HVSR)	p. 29
4.3 La determinazione del profilo di Vs: tecnica MASW	p. 31
4.4 Le incertezze	p. 33

## 05

**INDAGINI IN SITU E PROVE DOWN-HOLE****34**

5.1	Premessa	p. 35
5.2	Scelta del sito di prova	p. 35
5.3	Precisazioni di carattere generale	p. 36
5.4	Modalità tecniche esecutive dei sondaggi geognostici	p. 36
5.4.1	<i>Sondaggi geognostici</i>	p. 36
5.4.2	<i>Fluidi di circolazione</i>	p. 37
5.4.3	<i>Rilievo della falda</i>	p. 38
5.4.4	<i>Prelievo, conservazione e trasporto dei campioni</i>	p. 38
5.4.5	<i>Cassette</i>	p. 39
5.4.6	<i>Determinazione speditiva degli indici di resistenza su carote di terreni coesivi</i>	p. 40
5.4.7	<i>Riempimento dei fori di sondaggio in caso di mancato condizionamento</i>	p. 40
5.5	Prove penetrometriche	p. 40
5.5.1	<i>Prove penetrometriche dinamiche SPT</i>	p. 40
5.5.2	<i>Prove penetrometriche statiche CPT</i>	p. 42
5.5.3	<i>Prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU)</i>	p. 43
5.5.4	<i>Prove penetrometriche statiche con cono sismico (SCPT)</i>	p. 43
5.6	Posa in opera di tubi per prospezioni sismiche down-hole	p. 44
5.7	Documentazione	p. 46
5.8	Prospezioni sismiche in foro down-hole: modalità tecniche esecutive	p. 48
5.8.1	<i>Normative e specifiche di riferimento</i>	p. 48
5.8.2	<i>Caratteristiche delle attrezzature</i>	p. 48
5.8.3	<i>Controlli preliminari</i>	p. 49
5.8.4	<i>Modalità tecniche esecutive della prova DH</i>	p. 49
5.8.5	<i>Documentazione dei risultati della prova DH</i>	p. 50

## 06

**MODELLAZIONE DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE IN CONFIGURAZIONE 1D****52**

6.1	Premessa	p. 53
6.2	Modello di analisi e scelta del codice di calcolo	p. 53
6.3	Gestione delle incertezze nella stima della RSL	p. 54
6.4	Parametri descrittivi della variabilità	p. 55
6.5	Implementazione della variabilità del profilo di Vs nelle analisi di RSL	p. 58
6.6	Calcolo dei valori di FA rappresentativi della singola microzona	p. 60
6.7	Effetti morfologici	p. 61
6.8	La regolarizzazione degli spettri di risposta	p. 63
6.9	Esempio: il caso di S. Gimignano (SI)	p. 64

## 07

**MODELLAZIONE DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE IN CONFIGURAZIONE 2D****72**

7.1	Premessa	p. 73
7.2	Scelta del modello di analisi e del codice di calcolo	p. 74
7.3	Scelta delle sezioni e delle verticali da analizzare	p. 75
7.4	Estensione laterale delle sezioni per la modellazione numerica 2D	p. 78
7.5	Definizione del substrato sismico per le simulazioni numeriche	p. 79

7.6	Discretizzazione dei modelli	p. 79
7.7	Validazione modello di sottosuolo in base ai rapporti spettrali	p. 79
7.8	Definizione degli accelerogrammi e delle caratteristiche di non linearità dei terreni	p. 80
7.9	Risultati	p. 81
7.10	Bibliografia di riferimento	p. 82

## 08

### ANALISI PRELIMINARI DI STABILITÀ DELLE ZONE DI ATTENZIONE PER FRANA NEGLI STUDI MS

84

8.1	Premessa ed indicazioni generali	p. 85
8.2	Frane rotazionali e traslative in terra	p. 86
8.2.1	<i>Geometria del pendio</i>	p. 86
8.2.2	<i>Zonazione litotecnica</i>	p. 86
8.2.3	<i>Geometria della superficie di scivolamento</i>	p. 86
8.2.4	<i>Presenza della falda</i>	p. 86
8.2.5	<i>Analisi preliminari di stabilità</i>	p. 86
8.2.6	<i>Analisi di stabilità in condizioni pseudo-statiche e dinamiche</i>	p. 89
8.3	Debris flows	p. 89
8.3.1	<i>Schema di lavoro</i>	p. 89
8.3.2	<i>Valutazione</i>	p. 90
8.4	Frane in roccia	p. 91
8.4.1	<i>Situazioni di instabilità su pareti rocciose</i>	p. 91
8.4.2	<i>Frane su versanti rocciosi</i>	p. 93
8.4.3	<i>Rilievi remoti</i>	p. 93
8.5	Bibliografia di riferimento	p. 95

## 09

### ALLEGATI

96

allegati cap. 3.1	Scheda di raccolta dati per rilevamento coperture	p. 97
allegato cap. 3.2	Scheda di raccolta dati per rilievo geomeccanico	p. 98
allegato cap. 3.3	Scheda di raccolta dati per rilevamento frane	p. 99
allegato cap. 3.4	Riferimenti per la compilazione delle schede	p. 100
allegato cap. 4.1	Scheda metadati indagini HVSR	p. 106
allegato cap. 4.2	Scheda metadati indagini MASW	p. 108

# 02

## INDAGINI GEOLOGICHE E GEOMORFOLOGICHE

**Marco AMANTI**

ISPRA

**Stefano CATALANO**

UNICT-DSBGA

**Franco CAPOTORTI**

ISPRA

**Giuseppe CAVUOTO**

CNR ISPC

**Marta DELLA SETA**

UNIROMA1-DST

**Maurizio D'OREFICE**

ISPRA

**Carlo ESPOSITO**

UNIROMA1-DST

**Pier LORENZO FANTOZZI**

UNISI-DSFTA

**Fabrizio GALLUZZO**

ISPRA

**Cristina MURARO**

ISPRA

**Pierluigi PIERUCCINI**

UNITO-DST

**Francesco TROIANI**

UNIROMA1-DST



## 2.1 Premessa

**Lo scopo fondamentale delle indagini geologiche e geomorfologiche** per la Microzonazione Sismica (MS) è la ricostruzione di un Modello Geologico del sottosuolo<sup>7</sup> che faccia da riferimento a tutte le elaborazioni successive, definendo i vincoli essenziali alla caratterizzazione in prospettiva sismica dell'assetto geologico e dei lineamenti topografici dell'area di studio. In particolare sono della massima importanza tre elementi chiave:

1. la determinazione geometrica 3D delle interfacce rappresentative di possibili contrasti di impedenza sismica potenzialmente responsabili di fenomeni di amplificazione locale del moto sismico;
2. l'identificazione del substrato di riferimento<sup>8</sup> ovvero della configurazione nella quale il moto sismico è assunto noto a partire da stime a carattere regionale;
3. l'identificazione delle aree soggette a potenziali fenomeni di instabilità e deformazione permanente indotti dallo scuotimento sismico (frane, fenomeni di liquefazione, cedimenti differenziali e fagliazione superficiale).

Gli strumenti a disposizione per raggiungere questi obiettivi sono quelli propri dell'indagine geologica e geomorfologica completati da procedure speditive di campagna per la caratterizzazione geomeccanica dei materiali. Tutti questi strumenti, assieme all'eventuale disponibilità di indagini dirette e prove geotecniche, consentono la rappresentazione spaziale della distribuzione, della geometria e della struttura degli orizzonti litologici nel sottosuolo riassunti in un "modello geologico"<sup>9</sup>. Questo andrà progressivamente raffinandosi in funzione di analisi specifiche (prove geofisiche, prove in foro) in un modello geologico-tecnico<sup>10</sup>, mirato alla ricostruzione di un quadro coerente della pericolosità sismica locale e di eventuali effetti sul territorio in caso di forti terremoti. Nella fase iniziale delle attività di Microzonazione Sismica (MS di Livello 1 o più brevemente MS1), il modello geologico preliminare costituirà la base per definire un insieme di ipotesi (per esempio riguardo alle profondità ed entità dei contrasti di impedenza sismica, alle unità potenzialmente rappresentative del substrato di riferimento) che orienteranno le campagne di indagine successive<sup>11</sup>. Per esempio, considerazioni di questo genere forniranno vincoli importanti alle procedure d'inversione numerica che porteranno alla determinazione

7 La risoluzione del modello geologico deve essere adeguata al livello di approfondimento degli studi di microzonazione eseguiti e la sua affidabilità è funzione diretta del grado di dettaglio delle indagini geologiche e morfologiche condotte e della disponibilità di risultati di indagini dirette e prove geotecniche a supporto delle indagini di terreno.

8 Non necessariamente coincidente con il substrato geologico.

9 Negli studi di MS il "modello geologico" sarà sviluppato utilizzando come base le unità geologico-tecniche, ricavate dalle unità litostratigrafiche e litologiche rilevate sul terreno, e dovrà essere coerente con le geometrie rappresentate nella Carta Geologico-Tecnica. Questa deve mantenere il requisito di documento cartografico di rappresentazione 3D della realtà geologica di un territorio, in cui sono riversate tutte le informazioni di carattere litologico e giaciturale sui terreni affioranti nelle aree oggetto di studio. Analogamente, i dati di sottosuolo derivanti da indagini dirette disponibili, vanno interpretati coerentemente con i contenuti della Carta Geologico-Tecnica, attribuendo i terreni attraversati nelle verticali dei sondaggi alle categorie di unità geologico-tecniche previste nella legenda della carta. La Carta Geologico-Tecnica deve, infatti, costituire il riferimento univoco per l'interpretazione dei dati geognostici, delle misure geofisiche 1D/2D e per le rappresentazioni 1D (es. colonne stratigrafiche MOPS) e 2D (profili geologico-tecniche) del modello geologico di sottosuolo. I sondaggi interpretati in termini di unità geologico-tecniche costituiranno i nodi di riferimento per la stesura della griglia di profili geologico-tecniche necessari per rappresentare adeguatamente il modello del sottosuolo.

10 Il "modello geologico-tecnico" si ottiene assegnando a ciascuna delle unità geologico-tecniche rappresentate nel "modello geologico" un intervallo di valori della velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio al loro interno.

11 Negli studi di Microzonazione Sismica di Livello 1 (MS1), il modello geologico deve essere funzionale alla individuazione di zone a comportamento omogeneo in prospettiva sismica (Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica; MOPS), definite sulla base dei caratteri litologici e delle sequenze della stratigrafia di sottosuolo, nelle quali figurino la tipologia di substrato geologico e delle sovrastanti coperture, con relativi spessori. Le stratigrafie delle singole MOPS di livello 1 costituiscono una ipotesi preliminare di modello di sottosuolo, con identificazione e localizzazione delle unità interpretabili come substrato o bedrock sismico ( $V_s > 800$  m/s), assimilabile al substrato di riferimento secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC), e le profondità dei contrasti di impedenza sismica presenti nel sottosuolo. In pratica il modello geologico della MS1 individua preliminarmente gli oggetti del sottosuolo da caratterizzare nelle fasi successive, fornendo uno strumento indispensabile per orientare le campagne d'indagine per gli studi di MS3.

dei profili di velocità di fase delle onde S ( $V_s$ ) nelle singole microzone (MOPS e zone con instabilità secondo le limitazioni descritte sopra) e permetteranno di valutare la rappresentatività dei dati dei sondaggi e delle prove in foro oltre che dei risultati delle prove di laboratorio condotte sui campioni raccolti in profondità.

Il modello geologico per gli studi di livello 3 (MS3)<sup>12</sup> sarà sviluppato dalle misure su affioramenti, dall'interpretazione dei dati di sondaggio, dalle misure geofisiche 1D/2D, ma soprattutto sarà basato su una Cartografia Geologico-Geomorfologica e Geologico-Tecnica di qualità realizzata dagli affidatari<sup>13</sup>. Negli studi di livello 3 eventuali integrazioni delle informazioni geologiche possono includere sia la raccolta di dati geologici pregressi se non considerati già negli studi di livello 1 (dati immediatamente disponibili, perché raccolti in situ, e/o presenti in letteratura o in database pubblici)<sup>14</sup>, ovviamente analizzati criticamente in prospettiva sismica, che la realizzazione di rilievi geologici svolti ex-novo, alla scala di dettaglio adeguata<sup>15</sup>. Nella realizzazione delle cartografie di base dovrà essere rivolta particolare attenzione: i) alla mappatura dei depositi di copertura recenti e delle morfologie superficiali indicative di fenomeni di instabilità; ii) all'identificazione di elementi geomorfologici di rilevanza ai fini di processi amplificativi di sito; iii) al rilevamento geomeccanico degli affioramenti di ammassi rocciosi fratturati e/o eterogenei<sup>16</sup>; iv) alla caratterizzazione geotecnica speditiva dei depositi di copertura. Nel caso fossero già disponibili Carte di Microzonazione di Livello 1 con qualità elevata<sup>17</sup>, si procederà partendo dalla revisione critica del Modello Geologico relativo all'area di studio<sup>18</sup>. Questa fase si baserà sull'analisi critica degli elementi costitutivi di tale Modello, ovvero la:

- a. definizione di substrato<sup>19</sup>,
- b. definizione di Terreni di Copertura,
- c. verifica e eventuale integrazione nella MS di livello 3 (MS3 di seguito) delle superfici limite delle Unità Geologiche corrispondenti al Substrato Geologico e ai Terreni di Copertura,
- d. verifica e eventuale integrazione in MS3 degli elementi geomorfologici

**12** Nelle fasi di studio di livello 3, il modello geologico deve contenere tutti gli elementi di ulteriore conoscenza, acquisiti mediante le analisi specifiche condotte appositamente (prove geofisiche, prove in foro), e si deve concretizzare in un modello geologico-tecnico 1D o 2D, in funzione delle condizioni di sottosuolo. Il modello geologico-tecnico riporta i valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio ( $V_s$ ) assegnato ai diversi orizzonti stratigrafici, in maniera da essere facilmente convertibile in un modello geotecnico da utilizzare per le modellazioni delle amplificazioni di sito. Pertanto, le indagini geologiche e geomorfologiche di terzo livello hanno il duplice obiettivo di affinare ulteriormente il modello geologico di sottosuolo proposto negli studi di primo livello, fornendo i vincoli geologici necessari per le procedure di elaborazione ed interpretazione dei dati di misura geofisici (es. procedure di inversione numerica per la restituzione dei profili di  $V_s$  nelle singole MOPS), e di valutare la reale rappresentatività dei dati dei sondaggi e delle prove in foro. Il quadro di conoscenze va completato con la contestualizzazione dei risultati delle prove di laboratorio condotte sui campioni raccolti in profondità, nell'ottica della definizione del comportamento dinamico delle diverse tipologie dei terreni presenti nel modello geotecnico, indispensabile nella fase di modellazione numerica.

**13** A tal fine, è necessaria una valutazione preventiva della carta geologico-tecnica degli studi di livello 1, mediante l'applicazione della metodologia proposta in Albarello et al. (2011). Essa prevede una valutazione complessiva della qualità dei dati geologici e geomorfologici degli studi di livello 1 basata sui seguenti parametri:

1. l'adeguatezza della scala di raccolta e rappresentazione dei dati geologici e morfologici di terreno;
2. l'anno di produzione ed eventuale pubblicazione del dato cartografico;
3. affinità dello studio di provenienza dei dati cartografici utilizzati con gli scopi della microzonazione sismica.

**14** Con specifico riferimento a lavori svolti dopo la realizzazione degli studi di microzonazione di livello 1.

**15** Le integrazioni hanno lo scopo di aumentare in maniera significativa la qualità del dato geologico, sempre tenendo conto dei criteri di valutazione proposti in Albarello et al. (2011).

**16** Fondamentale per identificare i settori di affioramento e la prevedibile estensione nel sottosuolo del substrato geologico alterato o fratturato.

**17** La valutazione dell'adeguatezza della base geologica adottata deve tenere conto anche della quantità e della distribuzione dei dati disponibili per caratterizzare le differenti aree da microzonare. Una stima semiquantitativa per la determinazione della qualità della carta di MS di livello 1 è sintetizzata nella tabella 1 in Albarello et al. (2011). È sottinteso che il Fattore di Qualità dei dati a supporto degli studi di livello 3 deve rientrare nella prima classe di qualità. Si sottolinea che tale risultato non può in alcun modo essere raggiunto se la Carta Geologico-Tecnica adottata non sia stata ottenuta mediante l'utilizzo di dati geologici e geomorfologici di terreno aggiornati (post 2000), raccolti ad una scala adeguata ( $\geq 1/10.000$ ) e mirati specificamente allo studio di microzonazione sismica. È quindi possibile omettere la raccolta di dati sul terreno solo se la Carta Geologico-Tecnica soddisfa già i requisiti minimi prima citati. In alternativa è necessario procedere a rilievi geologici e geomorfologici originali di dettaglio, almeno per quelle aree in cui gli studi pregressi non garantiscano i requisiti di qualità richiesti.

**18** Essenzialmente basata sull'acquisizione di dati di sottosuolo originali derivanti dall'esecuzione del piano delle indagini previsto negli studi di livello 3.

**19** Eventualmente distinguendo tra "substrato geologico" e "substrato di riferimento".

- e. superficiali e sepolti influenti sulla pericolosità sismica,
- e. verifica e eventuale integrazione in MS3 delle geometrie e delle caratteristiche degli elementi di instabilità relativi a movimenti gravitativi, fenomeni di liquefazione/addensamento e subsidenza, presenza di faglie attive e capaci.

Tenendo presente che la ricostruzione delle caratteristiche di sottosuolo e di superficie è di primaria importanza nelle attività di Microzonazione sismica, nel caso in cui le aree da microzonare non siano sufficientemente estese per la piena risoluzione del modello di sottosuolo dai dati di superficie, è necessario che rilievi di terreno originali siano condotti su "areali significativi" più ampi, in funzione della complessità del sottosuolo oggetto di indagine, e sufficienti ad illustrare le situazioni geologiche e morfologiche locali condizionanti la risposta sismica, secondo le modalità indicate nel **paragrafo 3.4.2** delle istruzioni tecniche degli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS)<sup>20</sup>.

## 2.2 Il substrato

La necessità di caratterizzare al meglio l'assetto geometrico tridimensionale degli orizzonti risonanti implica una ricostruzione delle geometrie 3D delle Unità Geologiche corrispondenti al Substrato Geologico e ai Terreni di Copertura, mediante l'individuazione, quanto più precisa e dettagliata, dei relativi limiti stratigrafici o tettonici, siano questi ritenuti certi o incerti<sup>21</sup>.

Elementi essenziali per il raggiungimento di questo obiettivo sono la conoscenza dell'assetto tettonico-strutturale del substrato, con particolare riguardo alla giacitura delle diverse unità, alle geometrie dei loro limiti stratigrafici, alle caratteristiche geometriche e cinematiche dei contatti tettonici e all'andamento in superficie delle tracce delle faglie. È inoltre fondamentale conoscere l'assetto geomorfologico e la storia evolutiva delle forme del paesaggio per comprendere, al meglio, genesi e geometrie dei depositi di copertura. Per un'esecuzione corretta degli studi, è fondamentale attribuire i terreni al Substrato (SG o SS) o ai Terreni di Copertura (TC) secondo le indicazioni di seguito riportate<sup>22</sup>.

**20** I dati geologici e geomorfologici originali da utilizzare per redazione della Carta Geologico-Tecnica dovranno essere quanto più esaustivi su quattro elementi chiave:

- 1) la determinazione dei caratteri litologici delle unità geologiche affioranti e presenti nel sottosuolo, per una loro univoca attribuzione alle diverse categorie di unità geologico-tecniche di copertura, con la determinazione dell'ambiente genetico-deposizionale, o del substrato geologico previste negli indirizzi e criteri e negli standard di rappresentazione;
- 2) l'identificazione delle unità con caratteristiche di bedrock sismico ( $V_s > 800$  m/s), assimilabile al substrato di riferimento NTC, nelle quali il moto sismico è assunto noto a partire da stime a carattere regionale;
- 3) la determinazione geometrica (sia in pianta che in sezione) delle interfacce rappresentative di possibili contrasti di impedenza sismica, all'interno delle successioni delle unità di copertura, al contatto copertura- substrato geologico e al tetto delle unità con comportamento da substrato sismico di riferimento, potenzialmente responsabili di fenomeni di amplificazione locale del moto sismico;
- 4) l'identificazione delle aree soggette a potenziali fenomeni d'instabilità e deformazione permanente indotti dallo scuotimento sismico (frane, fenomeni di liquefazione, cedimenti differenziali e fagliazione superficiale).

**21** Negli studi riveste particolare importanza la ricostruzione, quanto più precisa possibile, dell'interfaccia tra gli orizzonti litologici assegnati al "substrato geologico" e alle coperture. Nel modello geologico, tale superficie frequentemente corrisponde al contatto tra "substrato di riferimento" delle NTC e i terreni superficiali a bassa velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio ( $V_s$ ), cui si associa il contrasto d'impedenza sismica principale che condiziona in maniera predominante la risposta sismica locale. L'individuazione di tale superficie facilita enormemente la conversione del modello geologico in modello geotecnico, nelle successive fasi di modellazione. Nella realizzazione del modello geologico di livello 3, la suddivisione tra Substrato e Coperture, basata su dati geologici e geomorfologici di base, deve essere funzionale alle specificità e alle finalità ultime degli studi di microzonazione, attribuendo alle due categorie un significato essenzialmente geologico-tecnico se non geotecnico.

**22** Secondo gli Indirizzi e Criteri e gli Standard di rappresentazione, potrebbero rientrare tra le unità di copertura solo i terreni sciolti, anche se fortemente addensamenti, e argille non consolidate, mentre tutte le tipologie litologiche compatte andrebbero catalogate utilizzando le codifiche previste per le unità appartenenti al Substrato Geologico. Pertanto, la suddivisione Substrato/Coperture non coincide necessariamente con quella normalmente riportata nelle carte geomorfologiche di base, dove la differenziazione tra "substrato" e "formazioni superficiali" è indipendente dal grado di cementazione ed età, ma dipende solo da considerazioni sull'evoluzione morfologica di una determinata area. Non esiste neanche una corrispondenza immediata tra unità di ambiente marino ed unità di ambiente continentale desumibile dalle carte geologiche. Va comunque segnalato che sono in corso di approvazione nuove linee guida per la realizzazione della carta geologico-technica per la microzonazione sismica, con adattamento ai contesti vulcanici, per corredate da nuovi Standard di Rappresentazione nella versione 4.2, già utilizzati come riferimento per gli studi di microzonazione della Sicilia. Le linee guida ed i nuovi Standard introducono le categorie di unità geologico-tecniche Litoide di copertura, designare coperture cementate, e Substrato incoerente, per indicare livelli del substrato geologico incoerenti o poco cementati.

## Substrato Geologico (SG)

È costituito da rocce e corpi sedimentari compatti e rigidi, in genere di età pre-quadernaria, che non hanno subito processi di alterazione e degrado o deformazioni tettoniche pervasive, e che costituiscono la base su cui poggiano in discordanza o discontinuità stratigrafica rocce e corpi sedimentari meno consistenti o alterati o sedimenti sciolti, in genere a bassa rigidezza, chiamati con il termine generale di Terreni di Copertura (TC)<sup>23</sup>. Il SG non corrisponde necessariamente al Substrato di Riferimento o Substrato sismico, del quale viene richiesta l'individuazione per gli studi di MS3. Nella definizione di Substrato Geologico rientrano infatti numerose categorie di rocce che non soddisfano il requisito di rigidezza richiesto per essere ritenute substrato sismico ( $V_s > 800$  m/s) né, localmente, comportano contrasti d'impedenza significativi con i soprastanti Terreni di Copertura. Rientrano in queste categorie anche gli orizzonti lapidei degradati per motivi fisico-chimici (alterazione) e/o strutturali (fratturazione)<sup>24</sup>. Per questa tipologia di substrato, si può introdurre il concetto di Substrato Lento (SL, es. litofacies pelitiche, marnose ecc.) coincidente con il concetto di "substrato non rigido", precedentemente adottato nei vecchi standard di rappresentazione<sup>25</sup>. Le indagini geofisiche e i dati già esistenti (MS1) o quelle previste per la MS3 potranno confermare (in base alle caratteristiche fisiche misurate) a partire da quale profondità il Substrato Geologico possa coincidere con quello sismico di riferimento (SS)<sup>26</sup>.

Per una caratterizzazione esaustiva del Substrato Geologico, i dati raccolti dovranno consentire la definizione dei seguenti aspetti fondamentali:

- litologia;
- età assoluta o relativa e, dove è possibile, correlazione con formazioni o altre unità cronostratigrafiche già descritte in letteratura;
- caratteristiche fisiche: colore, tessitura, tipo di stratificazione, resistenza (stimata a partire da indagini speditive quali le prove sclerometriche), variabilità laterali e verticali;
- distribuzione, grado ed estensione delle zone intensamente fratturate;
- presenza di eventuali discordanze.

**23** Ai fini degli studi di microzonazione sismica vanno attribuiti al Substrato Geologico (SG), utilizzando gli specifici codici previsti dagli Standard, tutti gli orizzonti o corpi rocciosi compatti affioranti in superficie o presenti in sottosuolo, in quanto ricoperti da sedimenti superficiali sciolti, che costituiscono invece i terreni di copertura (TC). Rientrano tra le tipologie di rocce ascrivibili al SG le rocce cristalline di origine magmatica plutonica e metamorfica, le rocce sedimentarie delle successioni meso-cenozoiche, gran parte delle rocce vulcaniche. Secondo gli ICMS sarebbero da attribuire al SG tutti i terreni di età quadernaria che abbiano subito compattazione per processi diagenetici, prima della loro esumazione ed esposizione in superficie o le formazioni superficiali recenti che, sebbene si siano sviluppate in connessione con l'evoluzione del paesaggio, risultano oggi ben cementate. Tale attribuzione potrebbe essere fuorviante nel caso in cui i livelli cementati poggiassero su orizzonti sciolti presenti in sottosuolo. Tali geometrie si concretizzerebbero con la presenza anomala in carta di unità di substrato su unità di copertura, cui associare molto probabilmente anche una anomala inversione della velocità delle onde di taglio nel profilo stratigrafico del sottosuolo. L'introduzione delle nuove Linee Guida per la realizzazione della Carta Geologico-Tecnica e dei nuovi Standard di Rappresentazione ovverà a queste anomalie di rappresentazione.

**24** Le rocce che costituiscono il SG, almeno nei livelli superficiali, spesso non costituiscono il "substrato sismico" a causa dei caratteri litologici originari o per fenomeni di alterazione e/o fratturazione. In questo caso, gli standard di rappresentazione hanno previsto l'uso di un codice specifico per l'indicazione del Substrato "Alterato" (SF, ad es. per fratturazione o deformazione tettonica, alterazione meteorica ecc.). Gli attuali standard non prevedono invece una distinzione in termini di rappresentazione delle unità di substrato, sulla base del loro comportamento sismico, in termini di velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio ( $V_s$ ). Tale distinzione va quindi esplicitata direttamente nel modello geologico, associando alle geometrie degli orizzonti di sottosuolo i valori di  $V_s$  dedotti dalle inversioni dei risultati delle analisi geofisiche.

**25** Nel caso in cui il substrato geologico comprenda terreni superficiali con  $V_s < 800$  m/s (substrato geologico "lento"), molto frequente in aree di affioramento di successioni argillose-sabbiose di età post-Tortoniana, nei profili geologico-tecnici non è immediatamente visualizzata la superficie di contrasto d'impedenza al tetto del "substrato sismico". In questi casi la profondità del substrato di riferimento da utilizzare nel modello "geotecnico" deve essere determinata mediante l'utilizzo dei dati geofisici che comunque andranno contestualizzati in termini di modello geologico. In particolare, va verificato se in profondità la superficie che separa il substrato geologico "lento" da quello assimilabile al substrato "sismico" di riferimento, ricavata dalle inversioni dei dati geofisici, si attesti in corrispondenza di un determinato limite geologico già conosciuto in letteratura o segnalato dalla cartografia geologica, eventualmente rappresentabile nei profili geologico-tecnici. Un caso classico potrebbe essere un contatto discordante alla base di successioni marine recenti, poco consolidate, poggianti su un substrato antico fortemente diagenizzato. Nel caso invece di un progressivo raggiungimento delle velocità da "bedrock sismico" all'interno della medesima formazione, la profondità va determinata puntualmente senza alcuna possibilità di associarla ad elementi visualizzabili indipendentemente nel modello.

**26** Nella conversione del modello geologico di sottosuolo in quello geotecnico, l'integrazione del dato geologico con quello geofisico è inoltre necessaria per verificare l'esistenza di contrasti d'impedenza significativi, in corrispondenza dell'interfaccia tra substrato "lento" e i soprastanti terreni di copertura. Questi ultimi, in caso di particolari condizioni di cementazione e di miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità, potrebbero costituire un efficiente substrato sismico. Pertanto, è raccomandabile che già nella formulazione del Modello Geologico di sottosuolo realizzato in MS1 o comunque in fase di pianificazione delle indagini per gli studi di MS3, il geologo evidenzii ipotesi di previsione del comportamento atteso in termini di  $V_s$  delle diverse unità classificate sia come Terreni di Copertura sia come Substrato Geologico.

A completamento delle indagini per la MS3, l'obiettivo principale della revisione del Modello Geologico realizzato in MS1 dovrà consistere nella indicazione di quali unità litostratigrafiche rappresentate nella cartografia geologico-morfologica di base possano essere convertite in unità geologico-tecniche assimilabili, per il loro comportamento, al Substrato di Riferimento. Questo obiettivo primario deve guidare la progettazione del piano delle indagini, con la selezione delle tipologie ed ubicazioni delle indagini geotecniche e geofisiche più opportune, per ottenere i dati analitici a supporto della stima qualitativa della rigidità dei materiali fornita in fase di realizzazione della MS1. Con il passaggio alla Carta Geologico-Tecnica per la Microzonazione Sismica (CGT\_MS) dovranno essere individuate, all'interno delle unità litostratigrafiche definite nella Cartografia Geologico-Geomorfologica di base, le diverse caratteristiche fisico-meccaniche delle unità e quindi le diverse unità litotecniche (siano esse S o TC) caratterizzate da specifiche caratteristiche fisico-meccaniche.

In particolare, i parametri specifici necessari a caratterizzare le rocce del substrato, possono essere riassunti come segue:

- assetti giaciture, con particolare attenzione al rapporto stratificazione/versante;
- spessore degli strati;
- individuazione e stima dello spessore delle unità pelitico-marnose, con particolare attenzione agli ammassi caotici che possono anche contenere, a seconda della loro natura, olistoliti o blocchi esotici di altri litotipi;
- nelle alternanze di litotipi, rapporto tra peliti/marne e altri litotipi, con particolare attenzione ai casi in cui le peliti/marne siano prevalenti;
- nel caso di rocce a grana grossa, definizione del grado di cementazione e, per brecce e conglomerati, rapporto clasti-matrice;
- grado di alterazione e di fratturazione dell'ammasso roccioso, con particolare riguardo alle zone di faglia.

### Substrato Sismico (SS)

È individuabile negli ammassi rocciosi o terreni molto rigidi, caratterizzati da una velocità delle onde di taglio  $V_s \geq 800$  m/s. Il substrato si intende affiorante quando direttamente esposto in superficie o ricoperto da uno strato superficiale di alterazione (meteorica, pedologica fisica e chimica) o copertura di spessore inferiore ai 3 m. Un Substrato Sismico affiorante, in condizioni topografiche sub-pianeggianti può essere assimilato alla categoria di terreno di tipo A della NTC, definito convenzionalmente dalle seguenti condizioni:

- valori di  $V_{s30}$  (velocità equivalente delle onde S nei primi 30 metri di sottosuolo) superiore a 800 m/s,
- avere una superficie topografica orizzontale.

Nel caso in cui non affiori, il Substrato Sismico è costituito da unità geologiche<sup>27</sup> caratterizzate da una velocità delle onde di taglio  $V_s \geq 800$  m/s, poste alla base di terreni meno rigidi o di sedimenti sciolti<sup>28</sup>.

Quando in corrispondenza di un affioramento di materiali rigidi che soddisfano i requisiti suddetti e dove non sono rilevati effetti locali di amplificazione o modificazioni in frequenza del moto sismico rispetto a quello misurato o stimato in profondità, si parla di *Substrato di Riferimento*; si presuppone quindi che al di sotto di questo tipo di

<sup>27</sup> Generalmente appartenenti al Substrato Geologico non degradato.

<sup>28</sup> Appartenenti al Substrato geologico "lento" o ai Terreni di copertura.

affioramento non esistano forti contrasti di impedenza sismica e che i materiali che lo compongono siano rigidi ed abbiano un comportamento meccanico di tipo lineare (mezzo continuo con comportamento visco-elastico)<sup>29</sup>.

### 2.3 I Terreni di Copertura (TC)

Comprendono gli orizzonti superficiali costituiti da rocce sciolte, a diverso grado di addensamento, in genere a bassa rigidità (in letteratura trattati spesso anche con il termine generico di "coperture") di età prevalentemente quaternaria, la cui evoluzione è legata ai diversi stadi di evoluzione e modellamento del paesaggio. I terreni di copertura possono essere associati a processi operati dai differenti agenti morfogenetici (acque correnti superficiali, gravità, carsismo, degradazione meteorica, ecc.). Questi depositi generalmente poggiano in netta discordanza sui terreni appartenenti al Substrato geologico e sono caratterizzati da frequenti variazioni, verticali e laterali, di spessore, litologia e composizione, in funzione della presenza di morfologie sepolte o della locale storia morfoevolutiva<sup>30</sup>.

Le Unità e/o le Formazioni classificate come TC dovranno essere caratterizzate ed analizzate in funzione della loro tipologia, del contesto deposizionale, dell'assetto stratigrafico, dello spessore ecc.<sup>31</sup>. A tal proposito ci si deve assicurare che gli studi di MS1 forniscano un'adeguata caratterizzazione delle coperture tale da evidenziare l'eventuale presenza al loro interno di strati con significativi contrasti di impedenza sismica (che possono dar luogo a fenomeni di amplificazione in corrispondenza di determinate frequenze) che nelle ulteriori fasi di indagine previste nello studio di MS di livello 3, potranno essere individuati e caratterizzati con maggiore precisione. In caso contrario è necessaria una integrazione preventiva all'esecuzione degli studi di MS3. Nel corso del rilevamento dei Terreni di Copertura, massima cura dovrà essere posta nella ricostruzione della superficie di interfaccia con il Substrato, evidenziando eventuali irregolarità dovute a paleotopografie sepolte nelle quali possono svilupparsi effetti amplificativi, dovuti sia alle forti variazioni laterali che alla geometria irregolare dell'interfaccia SG/TC (o SS/TC), da riprodurre con modelli 2D. La caratterizzazione dei Terreni di Copertura deve necessariamente essere condotta attraverso la raccolta di dati riguardanti la natura e la disposizione dei litotipi presenti, con l'individuazione di:

<sup>29</sup> È sempre opportuno verificare che i caratteri da SS delle unità affioranti o presenti nell'immediato sottosuolo si conservino anche in profondità, con un profilo di velocità stabilmente al di sopra della  $V_s$  limite di 800 m/s. La presenza in sottosuolo di inversioni di velocità, dovuta all'appoggio dei terreni affioranti "veloci" su un substrato "lento", potrebbero infatti comportare alterazioni del moto del suolo in superficie che vanno opportunamente modellate, tenendo conto della geometria della superficie di interfaccia tra le unità di substrato a differente comportamento. Paradossalmente, il comportamento da "bedrock sismico" potrebbe caratterizzare anche alcuni terreni di copertura. In questo caso, le inversioni di velocità potrebbero essere anche di notevole entità e confinate nei primi metri del sottosuolo. In ogni caso, il substrato sismico ed il substrato geologico in generale non va rappresentato come un "unicum", anzi è necessario caratterizzare al meglio l'assetto geometrico tridimensionale degli orizzonti risonanti, individuando con cura i limiti stratigrafici o tettonici, siano questi ritenuti certi o incerti, tra le diverse unità e definendo il loro assetto giaciturale.

<sup>30</sup> Alcuni di questi depositi sono associati a evidenti forme superficiali (es. conoide alluvionale, falda detritica ecc.) che ne designano l'origine e la geometria complessiva. In tali casi le variazioni di spessore e di litologia possono essere messe in relazione con la posizione dei depositi nell'ambito della forma complessiva. In altri casi, le variazioni di spessore e delle litofacies sono da imputare alla presenza di morfologie sepolte colmate dai depositi stessi e delle quali non vi è alcuna evidenza superficiale. In tali condizioni, la variabilità laterale deve necessariamente essere messa in evidenza mediante un numero adeguato di dati di sottosuolo.

<sup>31</sup> Si ricorda che per i terreni di copertura non è prevista una categoria di alternanza di litotipi e pertanto nelle successioni verticali vanno evidenziati e differenziati dagli altri solo gli orizzonti litologici omogenei che raggiungano uno spessore di almeno 3 m. In caso contrario, in presenza di una alternanza di livelli omogenei con spessori inferiori o se esistono intercalazioni di spessore inferiore ai 3 m all'interno di una sequenza omogenea, si classifica la formazione designandola sulla base della litologia prevalente. Variazioni laterali dei rapporti reciproci tra litologie in alternanza potrebbero quindi produrre una variazione di designazione all'interno del medesimo corpo sedimentario o orizzonte litostratigrafico.

- materiali a grana grossa, definendone la tessitura (anche mista), il grado di cementazione e lo stato di addensamento;
- materiali coesivi (limi, argille), indicandone la consistenza;
- depositi torbosi o fortemente organici, definendone eventuali elementi utili alla loro caratterizzazione;
- terreni di origine antropica (es., terreni di riporto, discariche, terrapieni, ecc.), definendone eventuali elementi utili alla loro caratterizzazione;
- spessore dei diversi strati;
- variabilità laterale e verticale dei terreni anche attraverso la definizione del principale ambiente deposizionale.

## 2.4 Elementi morfologici superficiali e sepolti pertinenti alla pericolosità sismica

La discussione con il professionista incaricato riguardo alle caratteristiche morfologiche dell'area dovrà portare alla formulazione di ipotesi relative alla possibilità di deformazioni superficiali permanenti associate ad elementi che possano generare movimenti sismici (es. faglie attive e capaci), oppure ad elementi morfologici suscettibili di incremento della relativa pericolosità in relazione a movimenti sismici; in questo senso si pensi agli elementi tettonici, alle cavità sotterranee anche di origine antropica ed alle varie tipologie di scarpate.

Per gli Elementi tettonico-strutturali, particolare attenzione deve essere rivolta:

- ad osservazioni strutturali di dettaglio degli specchi di faglia che interessano le rocce del substrato, anche per prevederne l'andamento in profondità;
- all'osservazione delle evidenze morfologiche di scarpate di probabile origine tettonica e di dislocazioni di superfici erosive o di corpi deposizionali quaternari;
- al rilevamento del maggior numero di dati che riguardano faglie attive e capaci, sia da letteratura sia ex-novo, basandosi, ad esempio, sulle evidenze di rotture cosismiche associabili agli eventi del 2016-2017.

Per gli elementi geomorfologici, particolare attenzione deve essere data:

- alla presenza di morfologie caratteristiche e suscettibili di amplificazioni quali scarpate, creste e picchi, raccomandando la loro classificazione secondo criteri morfogenetici (agente responsabile del modellamento), morfodinamici (stato di attività) e morfometrici (dimensioni);
- ai movimenti franosi che dovranno essere distinti per tipologia prevalente di movimento e stato di attività (vedi anche paragrafo successivo);
- alle cavità e sprofondamenti di origine naturale;
- alle forme e cavità legate all'attività antropica.

## 2.5 Elementi idrogeologici ed instabilità di versante

Per quanto attiene alle tematiche idrauliche e idrogeologiche, la discussione con il professionista incaricato dovrà vertere principalmente sulla possibilità che l'area possa essere interessata da frane, come flussi detritici o *debris flow* (per i quali andrà considerata una eventuale concomitanza tra le condizioni sismiche ed idrauliche che possano scatenare tali fenomeni) o da possibili effetti di liquefazione. In questo senso la formazione e la consulenza sarà orientata alla verifica delle tipologie di frana segnalate nell'area e riportate nelle cartografie e nelle banche dati ufficiali disponibili, così come alla

eventuale necessità di eseguire indagini e/o studi di maggiore dettaglio ove si ritenesse indispensabile (ed anche ragionevolmente ed economicamente possibile) il recupero dei terreni interessati dai fenomeni franosi.

Indicazioni sulle modalità di rilevamento geologico e geotecnico di coperture, ammassi rocciosi o frane già esistenti, potenzialmente instabili per effetto di azioni sismiche, nonché sui prodotti cartografici nei quali dovranno essere indicate le instabilità rilevate, saranno forniti in maggior dettaglio nel capitolo successivo. Va sottolineato che anche per zone soggette a fenomeni di instabilità (con le limitazioni descritte in precedenza), allo scopo di consentire la modellazione della risposta sismica locale secondo le indicazioni riportate nei **capitoli 6 e 7**, è necessario definire apposite colonne stratigrafiche rappresentative che dovranno essere riportate nella relazione geologico tecnica a corredo della Microzonazione di Livello 3. Da questa analisi sono però escluse quelle caratterizzate da un livello di pericolosità da frana R3 e R4 secondo la classificazione PAI.

Per quanto riguarda la cartografia e la caratterizzazione dei versanti soggetti a fenomeni gravitativi, questi ultimi andranno approfonditi:

- raccogliendo gli archivi esistenti per la tematica (es. IFFI, PAI, cartografie geologico-geomorfologiche esistenti, Piani Regolatori e Strutturali etc..)
- analizzando criticamente le geometrie, le tipologie e lo stato di attività
- dove ritenuto necessario effettuando rilievi di campagna ex-novo per determinare le geometrie corrette e le forme associate
- cartografando le forme associate, sia lineari sia puntuali, utili a definire il tipo prevalente di movimento e lo stato di attività, quali le scarpate di frana principali e secondarie, la presenza di gradini, fessurazioni, contropendenze ecc..
- effettuando sezioni topografiche e geologiche speditive e di dettaglio per ipotizzare le principali geometrie e gli spessori coinvolti.

Limitatamente ad alcune situazioni oggetto di studi pilota, si suggerisce la valutazione di massima di stato / distribuzione / stile di attività integrando le evidenze di campo con i risultati di studio multi-temporale (change detection) su immagini ottiche (aeree o satellitari).

A questa analisi è opportuno affiancare le informazioni che possono derivare dalla consultazione dei dati SAR del Progetto Straordinario di Telerilevamento ([www.pcn.minambiente.it/mattm/progetto-pst-prodotti-interferometrici](http://www.pcn.minambiente.it/mattm/progetto-pst-prodotti-interferometrici)).

A questo scopo si utilizzeranno anche le informazioni derivate dall'analisi del Modello Digitale del Terreno, nel dettaglio disponibile, suddividendo i fenomeni gravitativi in:

- a. Frane in roccia: la cui fenomenologia verrà definita tramite un'analisi strutturale delle giaciture evidenziando scivolamenti planari, di cunei 3D, ribaltamenti o crolli. Gli accumuli di frana osservabili dovranno essere rilevati associando una descrizione delle dimensioni dei blocchi e identificando, dove possibile, le aree sorgenti. Alla loro caratterizzazione si dovrà accompagnare la cartografia delle forme associate e, dove possibile, una stima speditiva di alcuni parametri degli ammassi rocciosi, quali orientazione, frequenza, estensione e tipo di discontinuità.
- b. Frane in terra: dovranno essere identificati e mappati gli indicatori di instabilità di tipo geomorfologico, includendo effetti sulla componente antropica. Dovranno essere identificati e mappati fenomeni di instabilità già esistenti, sia nel caso che essi siano inventariati in cataloghi (es. IFFI e PAI), sia nel caso che essi vengano osservati nel corso del rilevamento.

Nel caso di flussi detritici (*debris flow*) dovranno essere rilevati i depositi e le aree di alimentazione degli stessi.

Per quanto riguarda il tema della liquefazione anche in questo caso indicazioni più dettagliate



sono fornite nel "Documento di indirizzo alla trattazione delle instabilità nei prodotti di livello 3 previsti dalla ordinanza n°24 del 12/05/2017" redatto, nell'ambito delle attività della citata Ordinanza, dal Gruppo Operativo Trasversale per le Instabilità sismoindotte.

Per la definizione e delimitazione delle Zone di Attenzione (ZA) e per le Zone di Suscettibilità (ZS) riferite alle tipologie di instabilità riconosciuta da ICMS nelle sue linee guida (ovvero frane, liquefazione, faglie attive e capaci, faglie potenzialmente attive e capaci), l'indirizzo condiviso è che i professionisti incaricati si occupino della sola perimetrazione delle ZA. Non si prevede, pertanto, se non in futuri approfondimenti degli studi sulle instabilità di livello 3, che vengano delimitate e cartografate Zone di Rispetto (ZR) per nessuna delle tipologie di instabilità riconosciute da ICMS nelle sue Linee Guida. In tal senso, indicazioni specifiche e criteri di identificazione, perimetrazione e cartografia delle ZA e ZS, sono fornite nel "Documento di indirizzo alla trattazione delle instabilità nei prodotti di livello 3 previsti dalla ordinanza n°24 del 12/05/2017" redatto dalla UOTI e illustrato nel capitolo successivo. Nel caso di aree a franosità diffusa (o DGPV – Deformazioni Gravitative Profonde di Versante) si suggerisce di sostituire le  $ZA_{FR}$  con una MOPS già a partire dalle carte di Microzonazione sismica di Livello 1.

## 2.6 Sezioni geologiche e geologico-tecniche

Le sezioni geologiche e le sezioni geologico-tecniche, da esse derivate, costituiscono lo strumento per visualizzare il modello geologico di sottosuolo di riferimento. Se la carta geologico-tecnica è il documento rappresentativo della distribuzione dei terreni in superficie e degli elementi utili alla ricostruzione della loro geometria 3D, le sezioni geologiche forniscono visioni 2D della geometria 3D delle diverse unità nel sottosuolo, lungo transetti che siano effettivamente significativi per sintetizzare le caratteristiche locali dell'assetto geologico e geomorfologico. Un'ottimale rappresentazione della variabilità 3D del sottosuolo viene garantita eseguendo una griglia di profili geologici, orientati parallelamente ed ortogonalmente ai lineamenti geologico-morfologici caratteristici, di forma adeguata a quella del contorno delle aree da investigare, con maglia di dimensioni dipendenti dalla complessità del sottosuolo da modellizzare e, nel caso di studi di livello 3, dalle dimensioni della microzona. In ogni caso, la griglia di profili dovrà essere particolarmente concentrata sulle aree di maggiore interesse per le attività di MS. In particolare, è consigliabile l'utilizzo delle griglie di profili in ciascuna delle aree individuate per gli studi di MS, in cui ricadano gli abitati principali. Con il travaso dei dati delle indagini svolte ai fini della MS, le sezioni geologiche possono essere tramutate in altrettanti profili geologico-tecnici, in cui i terreni del sottosuolo vengono differenziati e rappresentati in funzione dei loro caratteri fisico-meccanici in prospettiva della risposta sismica locale. Appare evidente che, una volta fissata, la griglia di profili geologici da eseguire può costituire un valido riferimento per pianificare la distribuzione sul territorio delle indagini rivolte a ricostruire i profili geologico-tecnici, mediante la definizione della geometria dell'interfaccia substrato-copertura e la distribuzione in sottosuolo delle diverse tipologie delle coperture, con le relative Vs. I profili geologico-tecniche costituiranno la base per la definizione dei modelli geotecnici da utilizzare nelle modellazioni 2D.

Per la modellazione numerica in MS3 saranno scelte le sezioni geologico-tecniche più significative e rappresentative delle aree a maggiore criticità dal punto di vista della risposta sismica in superficie. Maggiori dettagli circa le modalità di realizzazione grafica delle sezioni vengono rimandate alla fase preliminare della "Modellazione della risposta sismica locale in configurazione 2D" descritta nel **capitolo 7**.

I criteri di tracciamento delle tracce delle sezioni geologiche vengono di seguito riassunti:

1. Le sezioni dovranno attraversare i centri abitati per una porzione rappresentativa delle dimensioni del centro abitato stesso<sup>32</sup>. Nel caso di centri abitati con distribuzione fortemente asimmetrica o di dimensioni notevoli potranno essere ubicate più sezioni rappresentative di dimensioni adeguate a rappresentare l'effettiva variabilità dell'assetto di sottosuolo.
2. Dimensioni longitudinali delle sezioni scelte per l'analisi bidimensionali (2D) dovranno essere tali da minimizzare, in corrispondenza della zona del centro abitato, gli effetti delle riflessioni totali delle onde che incidono sulle frontiere laterali della modellazione bidimensionale. Per questo è importante estendere la sezione in modo tale che le frontiere laterali si trovino ad una distanza almeno pari alla dimensione del tratto in corrispondenza del centro abitato attraversato. In pratica, se la sezione attraversa un centro abitato per un tratto di lunghezza  $X$ , è opportuno che la sezione abbia una lunghezza pari a  $X+X+X=3X$ , con l'abitato posto al centro della sezione.
3. Le sezioni dovranno essere ubicate in modo da caratterizzare la massima eterogeneità in termini di TC e S del Modello Geologico al di sotto del centro abitato, ovvero le sezioni dovranno essere realizzate fino ad una profondità tale da intercettare il Substrato Sismico (se identificabile) o quello Geologico.
4. Se l'eterogeneità è approssimativamente 1D (successione di strati orizzontali o sub-orizzontali) le sezioni potranno essere più corte; altrimenti, in caso di forti eterogeneità laterali, con configurazioni 2D o 3D (es. contatti sepolti molto acclivi, presenza di scarpate verticali sepolte ecc..) sarà necessario ubicare le sezioni in modo tale da rappresentare al meglio anche tali eterogeneità.
5. Le sezioni dovranno essere ubicate tenendo conto delle possibili morfologie sepolte o delle morfologie superficiali (ad es. presenza di riempimenti vallivi, contatti bruschi con i versanti, scarpate di terrazzo, scarpate strutturali ecc...). Nel caso di valli sepolte caratterizzate da un rapporto  $H/L > 1/4$  (con  $H$  profondità e  $L$  semi-larghezza della valle) potrebbe essere necessario estendere le sezioni oltre le estremità della valle per minimizzare gli effetti delle riflessioni laterali nella modellazione.
6. Nel caso di centri abitati posti su TC che riempiono morfologie sepolte è raccomandabile, dove il contrasto laterale sia significativo e l'eterogeneità 2D e/o 3D attesa sia importante, tracciare le sezioni lateralmente fino ad intercettare il Substrato Sismico (si veda in proposito anche paragrafo 3.4.2 degli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica- ICMS).

**32** È fortemente raccomandato proiettare, lungo i profili, le intersezioni dei limiti delle MOPS degli studi di MS1. Questa pratica costituisce uno strumento di enorme efficacia per controllare la congruenza tra dato geologico-tecnico ed estensione e caratterizzazione delle MOPS. L'estensione della MOPS non dipende esclusivamente dalle estensioni delle formazioni affioranti, ma spesso è il risultato dell'intersezione tra più livelli discontinui posti in posizione stratigrafica differente, ben visualizzabili nei profili geologico-tecnici. Alla stessa maniera, la caratterizzazione litostratigrafica delle MOPS è il risultato di una successione verticale che comprende terreni sepolti sotto la formazione affiorante la cui presenza, seppure comunque desumibile dalla Carta Geologica Tecnica e dai dati di sottosuolo, è immediatamente verificabile lungo i profili geologico-tecnici. In particolare, sarà facilmente verificabile:

- la correttezza dell'estensione delle MOPS lungo la direzione del profilo;
- la congruenza tra la litostratigrafia assegnata alla MOPS, sia in termini di litologie che di spessore, e quella rappresentata nel profilo;
- l'effettiva omogeneità laterale delle caratteristiche stratigrafiche delle singole MOPS;
- l'effettiva distinzione delle caratteristiche stratigrafiche tra MOPS adiacenti;
- la possibilità o meno di risolvere con una modellazione 1D, piuttosto che 2D, il comportamento della MOPS, in funzione della variabilità al suo interno.