



## Comune di Forino Provincia di Avellino



# STUDIO GEOLOGICO

Tavola G.1

## *Relazione geologica*

*Consulenza geologica:*

Geol. Antonio Viggiano

*Collaboratore:*

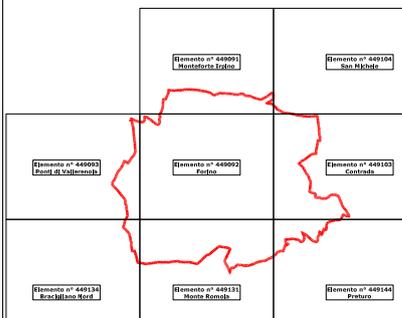
Geol. Mattia Lettieri



**Sindaco dott. Antonio Olivieri**

**Assessore all'urbanistica ing. Carmine Lima**

**Progettista e Rup geom. Maurizio Silvestro Tironese**



2022

## INDICE

1. Premessa.....	5
1.1 Finalità geologiche per la redazione del PUC nella L.R. 16/2004 .....	8
1.2 Dati disponibili presso l'Amministrazione Comunale .....	9
1.3 Elaborati richiesti per il PUC .....	10
2. Inquadramento territoriale del Comune di Forino .....	13
3. Principali elementi di geologia regionale .....	20
3.1 Assetto geologico della Campania .....	20
3.2 Assetto strutturale regionale .....	23
4. Inquadramento geologico generale del territorio comunale di Forino.....	26
4.1 Geologia e geolitologia dell'area di studio .....	26
4.2 Caratteristiche litologiche del territorio comunale .....	29
4.3 Depositi quaternari della piana di Forino.....	31
4.4 Assetto geomorfologico generale del territorio comunale .....	33
4.5 Aspetti geomorfologici e idrogeologici della conca di Forino .....	34
5. Idrografia ed idrogeologia dell'area.....	36
5.1 L'idrologia superficiale .....	36
5.2 I complessi idrogeologici e le sorgenti dell'area della piana .....	37
5.3 Ricostruzioni piezometriche della piana alluvionale .....	40
5.4 Schema di circolazione idrica dei corpi idrici carbonatici sotterranei.....	41
6. Stabilità generale del territorio in esame .....	44
6.1 Colate rapide di detrito .....	46
6.2 Colate lente .....	46
6.3 Scorrimenti rotazionali.....	46
6.4 Colate rapide di fango in terreni piroclastici dei versanti carbonatici .....	48
6.5 Colate rapide di fango in terreni piroclastici dei contesti in flysch .....	49
6.6 Formazione dei piping sinkhole nella piana di Forino .....	54
6.7 Formazione di sinkhole nei mesi di marzo e aprile 2022.....	67

7. Considerazioni generali sul rischio sismico di Forino nel contesto regionale .....	70
7.1 Indicazione della zona sismogenetica.....	71
7.2 Sismicità della Campania .....	77
8. Sismicità storica del territorio comunale di Forino .....	79
8.1 Classificazione sismica di Forino.....	86
9. Indagini e caratterizzazione geologica, geotecnica e geofisica .....	91
9.1 Riferimenti normativi.....	91
9.2 Sondaggi geognostici disponibili per il territorio comunale di Forino.....	92
9.3 Caratteri litostratigrafici del territorio comunale.....	102
9.4 Prove Standard Penetration Test (S.P.T.) .....	103
9.5 Prelievo di campioni indisturbati.....	106
9.6 Caratteristiche geotecniche dei terreni .....	108
9.7 Prospezioni di sismica passiva a stazione singola (HVSr).....	109
9.8 Prospezioni sismiche M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves).....	114
10. Risposta sismica locale.....	122
10.1 Categoria di sottosuolo .....	123
10.2 Categoria topografica .....	143
10.3 Condizioni di amplificazione stratigrafica e topografica .....	143
11. Caratterizzazione sismica secondo le N.T.C. 2018 (D.M. 17.01.2018) .....	145
12. Pericolosità dovuti agli effetti cosismici.....	152
12.1 Stabilità nei confronti della liquefazione .....	153
13. Pericolosità sismica e Microzonazione sismica.....	157
13.1 Linee guida della Regione Campania .....	157
13.2 Microzonazione Sismica dei centri abitati del Comune di Forino.....	160
14. Carte tematiche .....	162
14.1 Software utilizzato, reperimento e archiviazione dati.....	163
14.2 Rilevamento geomorfologico di campagna .....	165
15. Descrizione delle carte tematiche .....	167
15.1 Tavola G2 - Carta di ubicazione delle indagini geognostiche .....	167

15.2	Tavola G3 - Carta geolitologica e strutturale del substrato .....	168
15.3	Tavola G4 - Carta delle coperture sciolte .....	172
15.4	Tavola G5 - Carta dello spessore delle coperture sciolte.....	175
15.5	Tavola G6 - Carta idrologica e dei complessi idrogeologici.....	177
15.6	Tavola G7 – Modello di elevazione digitale del terreno (DEM) .....	179
15.7	Tavola G8 – Carta clivometrica .....	180
15.8	Tavola G9 – Carta dell’esposizione (o orientazione) dei versanti .....	182
15.9	Tavola G10 – Carta geomorfologica .....	183
15.10	Tavola G11 – Carta inventario delle frane.....	186
15.11	Tavola G12 – Carta delle aree a maggior pericolosità geomorfologica .....	189
15.12	Tavola G13 – Carta della pericolosità da frana .....	191
15.13	Tavola G14 – Carta del rischio frana.....	194
15.14	Tavole G15 – Carta della pericolosità idraulica .....	197
15.15	Tavole G16 – Carta del rischio idraulico .....	199
15.16	Tavola G17 – Carta della stabilità integrata dei versanti .....	200
15.17	Tavola G18 – Carta della categoria di sottosuolo e dell’amplificazione stratigrafica ....	205
15.18	Tavola G19 – Carta della categoria topografica e amplificazione topografica .....	208
15.19	Tavola G20 – Carta delle aree a maggiore pericolosità sismica locale.....	209
15.20	Tavola G21 – Carta delle sezioni geologiche rappresentative .....	216
16.	Pericolosità geologica e pianificazione territoriale .....	216
16.1	Normativa di riferimento nell’ambito dell’Autorità di Bacino di competenza .....	216
16.2	Condizioni di fattibilità geologica .....	224
16.3	Criteri generali di fattibilità in relazione agli aspetti geomorfologici e sismici .....	225
16.4	Considerazioni finali sull’uso del territorio .....	227

**Allegati alla relazione fuori testo:**

- Tavola G2 – Carta di ubicazione delle indagini geognostiche
- Tavola G3 – Carta geolitologica e strutturale
- Tavola G4 – Carta delle coperture sciolte
- Tavola G5 – Carta dello spessore delle coperture sciolte
- Tavola G6 – Carta idrogeologica, idrologica e del sistema idrografico
- Tavola G7 – Carta del modello di elevazione digitale del terreno (DEM)
- Tavola G8 – Carta clivometrica
- Tavola G9 – Carta dell'esposizione dei versanti
- Tavola G10 – Carta geomorfologica
- Tavola G11 – Carta delle aree a maggiore pericolosità geomorfologica
- Tavola G12 – Carta inventario delle frane (ex Autorità di Bacino Campania Centrale)
- Tavola G13 – Carta della pericolosità da frana (ex Autorità di Bacino Campania Centrale)
- Tavola G14 – Carta del rischio da frana (ex Autorità di Bacino Campania Centrale)
- Tavola G15 – Carta della pericolosità idraulica (Riperimetrazione del PSAI approvata)
- Tavola G16 – Carta delle aree a rischio idraulico (Riperimetrazione del PSAI approvata)
- Tavola G17 – Carta della stabilità integrata dei versanti
- Tavola G18 – Carta della categoria di sottosuolo e amplificazione stratigrafica (NTC 2018)
- Tavola G19 – Carta della categoria topografica e amplificazione topografica (NTC 2018)
- Tavola G20 – Carta delle aree a maggiore pericolosità sismica locale
- Tavola G21 – Sezioni geologiche rappresentative
- Allegato 1 – Prospezioni sismiche superficiali M.A.S.W.
- Allegato 2 – Indagini eseguite per il PRG e per il PdR del Comune di Forino.
- Allegato 3 – Indagini eseguite per altri lavori pubblici e privati nel Comune di Forino.
- Allegato 4 – Microzonazione Sismica – Relazione illustrativa e indagini sismiche HVSR
- Allegato 4.1 – Microzonazione Sismica – Carta delle indagini
- Allegato 4.2 – Microzonazione Sismica - Carta geologico tecnica
- Allegato 4.3 – Microzonazione Sismica - Carta delle MOPS.

## 1. Premessa

La predisposizione del Piano Urbanistico Comunale (PUC) in Campania è disciplinata, negli aspetti generali che riguardano obiettivi e contenuti, dalla L.R. n.16/2004 "*Norme sul governo del territorio*" e dal Regolamento Regionale n.5/2011 "*Regolamento di attuazione per il governo del territorio*". Ulteriori riferimenti si ritrovano nella L.R. n.13/2008 "*Piano territoriale regionale*" e, in particolare, nel documento "*Linee guida per il paesaggio in Campania*", nonché per la Provincia di Salerno nel Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) approvato dal C.P. con deliberazione n.15 del 30/03/2012.

In aggiunta, la L.R. n. 9/83, segnatamente a quanto previsto per gli strumenti urbanistici dall'art.11, dispone che "*Prima della formazione, revisione ed adeguamento degli strumenti urbanistici generali o loro varianti, ogni Comune della Regione dichiarato sismico o ammesso a consolidamento, è tenuto a predisporre indagini geologiche-geognostiche, ai fini della prevenzione del rischio. Le indagini dovranno reperire dati per la compilazione delle seguenti carte: Carta Geolitologica; Carta della stabilità; Carta idrogeologica; Carta della zonazione del territorio in prospettiva sismica*".

Al fine quindi di ottemperare a quanto espressamente richiesto dalle normative suddette, l'Amministrazione Comunale di Forino, con Determina n°62 del 16.11.2021 del responsabile del Settore Area Ambiente e Territorio, ha provveduto all'affidamento dell'incarico allo scrivente *geologo dott. Antonio Viggiano*, iscritto all'Albo dei Geologi della Regione Campania con n°2397 e con studio in Postiglione (SA) alla Piazza Europa n°28, per la redazione dello Studio Geologico per la formazione del Piano Urbanistico Comunale (P.U.C.), studio effettuato in collaborazione con il *geologo dott. Mattia Lettieri*, iscritto all'Albo dei Geologi della Regione Campania con n°1448.

Per quanto riguarda gli aspetti tecnici il presente studio geologico è stato redatto secondo:

- la L.R. n. 9/1983 artt. 11 e 12 "*Norme per l'esercizio delle funzioni regionali in materia di difesa del territorio dal rischio sismico*";
- il D.M. 11.03.88 riguardante le "*Norme tecniche per le indagini sui terreni e le rocce per opere di edilizia pubblica e privata*";
- le *Linee Guida Finalizzate alla Mitigazione del Rischio Sismico* della Regione Campania dell'anno 2006;
- la Deliberazione n. 834 dell'11.05.2007 della Regione Campania- *Area generale di coordinamento n.16 – Governo del territorio, tutela beni, paesistico ambientali e culturali*;
- il *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PSAI)* redatto ed aggiornato dall'ex Autorità di Bacino Campania Centrale ai sensi del *D.Lgs 152/2006* e ss.mm.ii. e della *L.R. n. 8/1994* e ss.mm.ii.;

- in accordo con quanto previsto dalle più recenti normative in materia di rischio sismico: D.G.R. 5447/02 "*Aggiornamento della classificazione sismica dei comuni della Regione Campania*"; O.P.C.M. n. 3519/06; N.T.C./2008 - D.M. 14.01.2008 "*Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni*"; Circ. n°617 del 02/02/2009; - N.T.C./2018 - D.M. 17.01.2018 "*Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni*";
- il più recente *P.T.C.* della Provincia di Salerno che, richiamando le normative prima citate, indica la necessità di predisporre i seguenti elaborati di base:
  - *carta di inquadramento generale geologica, geomorfologica e strutturale;*
  - *carta idrologica e del sistema idrografico;*
  - *carta della stabilità* (riportante i fenomeni di instabilità, reali e potenziali, antichi e recenti);
  - *carta clivometrica o delle acclività;*
  - *carta della zonazione sismica del territorio in prospettiva sismica.*

A tal fine si è proceduto ad un programma di indagini dirette alla determinazione di tutti i parametri necessari per una caratterizzazione geologico-technica e sismica dell'intero territorio comunale. Inoltre, come dettato dai succitati articoli, sono state redatte delle carte tematiche rispondenti alla caratterizzazione dell'area di studio.

In relazione sono stati trattati gli aspetti geologici, geomorfologici dell'area comunale anche tenendo in considerazione i punti salienti e di interesse del Piano Regionale della Geologia della Campania; le informazioni sono state correlate con le caratteristiche geologiche dell'intera Regione, con tutte le sue unità per esteso, anche quelle non riguardanti l'area in oggetto nello specifico.

Nell'inquadramento dell'area in oggetto sono, dunque, descritti in maniera minuziosa e dettagliata tutti gli affioramenti per età geologiche di appartenenza, caratteristiche meramente geomorfologiche, spessore, alcuni aspetti evolutivi e rapporti stratigrafici e tettonici con altre Unità. In sintesi, la presente analisi fornisce un inquadramento geologico, geomorfologico, idrogeologico, geotecnico e sismico del territorio comunale.

Per perseguire tali obiettivi, sono state eseguite dal sottoscritto n°5 prospezioni sismiche M.A.S.W. (*Multichannel Analysis of Surface Waves ovvero Analisi Multicanale delle onde Superficiali di Rayleigh*), nonchè si è fatto riferimento alle risultanze delle precedenti campagne geognostiche realizzate nel comune di Forino di seguito elencate:

- *Sondaggi geognostici a carotaggio continuo, prove S.P.T. (Standard Penetration Test) in foro di sondaggio, prospezioni sismiche in foro di sondaggio e superficiali e prove geotecniche di laboratorio realizzate per la redazione del Piano Regolatore Generale, del Piano di Recupero del Comune di Forino e per l'ampliamento del cimitero comunale.*

- *Sondaggi geognostici a carotaggio continuo, prospezioni sismiche superficiali e prove geotecniche di laboratorio eseguiti dallo stesso scrivente e da altri professionisti per lavori privati.*
- *Microzonazione sismica del Comune di Forino.*

Le attività eseguite per lo svolgimento del presente lavoro si è articolata nelle seguenti fasi di studio principali:

1. *Fase preliminare:* la prima fase ha riguardato la raccolta di tutti i dati disponibili presso enti pubblici preposti (Comune di Forino, ex Autorità di Bacino Campania Centrale, pubblicazioni scientifiche) e del materiale bibliografico riguardante l'area in esame.
2. *Fase conoscitiva di base:* durante la seconda fase è stato effettuato il riconoscimento dei lineamenti geologici, geomorfologici e dell'assetto strutturale del territorio comunale, dello stato idrogeologico superficiale e sotterraneo, studio delle foto aeree disponibili per l'area.
3. *Fase degli accertamenti di dettaglio:* la terza fase si è svolta prima mediante il rilevamento geologico di campagna, al fine di verificare e aggiornare con rilievi di dettaglio gli aspetti geologici e geomorfologici relativi al territorio in studio, e poi con l'esecuzione di indagini in sito e successiva elaborazione dei dati.
4. *Elaborazione dei dati:* infine, si è pervenuti alla redazione della presente relazione geologica che illustra le conclusioni a cui si è approdati in fase di sintesi e poste alla base del presente lavoro.

## 1.1 Finalità geologiche per la redazione del PUC nella L.R. 16/2004

La L.R.16/04 nasce, come precedentemente detto, dalla necessità di provvedere all'introduzione di specifiche norme per il governo del territorio che potessero, in scala con sempre maggior dettaglio, dalla regionale alla comunale, all'ottimizzazione delle trasformazioni ed utilizzazioni del territorio.

Gli obiettivi specifici di tale impianto legislativo sono:

- *nella promozione dell'uso razionale del territorio urbano mediante il minimo consumo di suolo*
- *nella salvaguardia e sicurezza degli insediamenti umani dai fattori di rischio idrogeologico, sismico e vulcanico*
- *nella tutela dell'integrità ed identità del territorio mediante la valorizzazione delle risorse paesistico-ambientali, la conservazione degli ecosistemi, la riqualificazione ed il recupero dei siti compromessi.*

In particolare alla pianificazione provinciale e comunale si richiedono *"disposizioni strutturali, con validità a tempo indeterminato, tese ad individuare le linee fondamentali delle trasformazioni a lungo termine del territorio in considerazione, tra l'altro, dell'esigenza di difesa del suolo, dei rischi derivanti da calamità naturali"*.

In aggiunta, si richiedono *"disposizioni programmatiche mirate a definire gli interventi di trasformazione fisica e funziona le del territorio in archi temporali limitati, correlati con la programmazione finanziaria dei bilanci annuali e pluriennali delle Amministrazioni Pubbliche"*.

Si comprende quindi da quanto fin qui riportato, che la finalità del legislatore è di dotare le Amministrazioni, in questo caso comunali, di idonei strumenti di conoscenza del territorio e delle sue dinamiche, oltre che antropiche, ma anche e soprattutto fisiche e naturali onde provvedere ad una più adeguata e coerente azione di sviluppo.

Al Capo II Pianificazione Urbanistica Comunale art.23, viene specificato al punto 2 commi *a* e *b* rispettivamente, che il PUC *"individua gli obiettivi da perseguire nel governo del territorio e gli indirizzi per l'attuazione degli stessi"* e *"definisce gli elementi del territorio raccordando le previsioni di interventi di trasformazione con l'esigenza di salvaguardia delle risorse naturali...nonchè i criteri per la valutazione degli effetti ambientali degli interventi stessi"*.

Ma è nel successivo comma *i* che si individuano le specificità delle tematiche geologiche affermando che il PUC *"assicura la piena compatibilità delle previsioni in esso contenute rispetto all'assetto geologico o geomorfologico del territorio comunale, così come risultante da apposite indagini di settore preliminari alla redazione del piano"*.

E' quindi evidente la forte volontà del legislatore di porre come traccia di indirizzo fondamentale del governo del territorio, la piena aderenza tra la realtà geologica e le sue dinamiche, con l'impianto antropico o da antropizzare, ribadendo che l'analisi territoriale va effettuata in maniera preliminare e che mediante il PUC, vengano adeguate le scelte urbanistiche alla realtà geologica.

Tanto sia come fase preventiva, rispetto alle nuove proposte di sviluppo urbano, ma quanto e soprattutto come necessità di prevedere e provvedere ad eventuali interventi che “assicurino” la piena compatibilità del già costruito.

Alla luce quindi di quanto descritto, si chiarisce che la funzione degli elaborati geologici a corredo del PUC si inquadra in due momenti fondamentali:

- *la ricognizione e verifica dello stato attuale dell'ambiente geologico con l'individuazione delle criticità e degli elementi sensibili o, delle pregevolezze e,*
- *la successiva definizione, di aree omogenee con attitudini cioè simili di risposta, rispetto alle tematiche idrogeologiche, sismiche, di sensibilità all'inquinamento.*

## **1.2 Dati disponibili presso l'Amministrazione Comunale**

La prima fase di lavoro affrontata dallo scrivente è stata quella di provvedere all'individuazione e raccolta dei dati geologici disponibili all'attuale. Si è pertanto richiesto all'Amministrazione Comunale di fornire copia dei lavori effettuati negli ultimi anni, in merito sia ad attività di progettazione specifica che ad opere o lavori pubblici, nonché piani urbanistici particolareggiati e di settore, dai quali poter estrapolare informazioni utili alla generale ricostruzione delle dinamiche territoriali. Sono dunque stati forniti gli elaborati relativi a studi geologici e, nello specifico le indagini geognostiche e sismiche effettuate, per i seguenti lavori:

- *Piano Regolatore Generale (Geol. L. De Iasi, 1983);*
- *Piano di Recupero (Geol. L. De Iasi, 1985);*
- *Ampliamento cimitero (Geol. M. Liguori, 2011);*
- *Microzonazione sismica del Comune di Forino (Geol. V.E. Iervolino; Geol. F. Petrosino, 2019);*
- *Studio idraulico di approfondimento al Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PSAI) finalizzato alla proposta di revisione della Pericolosità e del Rischio Idraulico (Ing. G. Benevento, 2017), (con decreto n. 691 del 03.12.2018 dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale è stato adottato ai sensi dell'art. 12, comma7, del DM 294 del 25.10.2016 il Progetto di Variante al Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PSAI) dei Bacini di competenza della soppressa Autorità di bacino della Campania Centrale relativa al territorio del Comune di Forino e che nella seduta del 27.12.2018 la Conferenza Istituzionale Permanente ha adottato le Misure di Salvaguardia relativa alla predetta variante riguardante il territorio del Comune di Forino).*

Da questi elaborati sono stati prioritariamente estrapolati ed ubicati su cartografia in scala 1:5.000 tutte le indagini geognostiche e sismiche, per ottimizzare l'ubicazione delle indagini necessarie suppletive a corredo del presente lavoro.

Tale ricostruzione bibliografica ha avuto altresì lo scopo di contribuire alla migliore identificazione anche della specifica tipologia di indagine (dirette e/o indirette) da avviare e,

particolare di non minore rilevanza, di definire la maglia investigativa ove cioè, l'emergenza di particolarità o condizioni morfo-stratigrafiche lacunose, dovessero meglio essere esplicitate.

Successivamente alla fase appena descritta è stata realizzata una ricognizione territoriale con il rilevamento geologico, mirato al riscontro tra quanto acquisito e l'eventuale necessità di provvedere ad approfondimenti geognostici per aspetti specifici. Le necessità emerse infatti hanno riguardato la caratterizzazione sismica degli ambiti morfologici esclusi dallo studio di Microzonazione Sismica recentemente effettuato dal Comune di Forino.

Per raggiungere tali obiettivi di conoscenza si è proceduto all'individuazione dei siti oggetto di indagine provvedendo ad eseguire delle prospezioni sismiche di tipo indiretto come le MASW, dalle quali emerge la media delle velocità delle onde S dei primi 30 metri di spessori litologici attraversati. Dunque la caratterizzazione della risposta sismica del territorio delle zone non investigate dallo studio di Microzonazione Sismica si è ottenuta dall'interpolazione dei dati riscontrati e misurati in sito e dalla loro correlazione con le medie delle velocità tipiche dei terreni oggetto di investigazione.

Pertanto, si è ritenuto quanto mai opportuno andare ad approfondire i tematismi relativi alla risposta sismica dei terreni per i quali non sussistono storicamente approfondite investigazioni. Inoltre questo indirizzo della campagna di indagini effettuata, ha certamente un ulteriore conforto nella considerazione che l'acquisizione di dati relativi alle velocità delle onde S per i primi 30 metri di spessore litologico con le MASW, è stato realizzato in condizioni morfologiche e topografiche dei siti estremamente varie, consentendo dunque una buona rappresentazione del parametro misurato, nell'ambito di una variabilità di situazioni statisticamente accettabile.

### 1.3 Elaborati richiesti per il PUC

**Le Norme tecniche e direttive alla Legge Regionale 16/2004** al punto 4.2 (Elaborati del PUC) prescrive che la proposta di PUC deve essere "comprensiva degli elaborati previsti dalla vigente normativa statale e regionale e delle norme di attuazione" e devono contenere negli allegati tecnici alla relazione, tra l'altro, "*Le indagini e le rappresentazioni cartografiche riguardanti le caratteristiche geomorfologiche del territorio, la consistenza ed i regimi di utilizzazione delle acque fluenti e della falda, lo sfruttamento esistente di cave e miniere, lo studio geologico-geotecnico prescritto dal decreto 11 Marzo 1988, punto H, pubblicato supplemento ordinario della Gazzetta Ufficiale n°127/88, nonché i risultati delle indagini geognostiche e le carte prescritte dagli articoli 11 e 12 della Legge Regionale 9/83*".

In aggiunta, gli elaborati di progetto devono contenere la "*carta idro-geo-lito-morfologica, caratterizzazione sismica e fattibilità delle ipotesi di progetto (scala 1:5.000 - 1:2.000)*".

Relativamente a quest'ultimo elaborato previsto dalla L.R. 16/2004, è necessario precisare che i successivi interventi legislativi in materia di difesa del suolo, ed in particolare la redazione dei Piani stralcio Per l'Assetto Idrogeologico, hanno di fatto implementato quanto prescritto dalla citata Legge. Nell'ambito infatti delle carte tematiche di pericolosità e rischio di frana delle Autorità

di Bacino sono previste appunto più approfondite e variegate indicazioni in merito alle caratteristiche di stabilità dei versanti.

Per questi motivi si è ritenuto opportuno e più utile alle finalità di pianificazione territoriale previste per il PUC, provvedere alla redazione di più elaborati distinti per tematica affrontata, ovvero l'individuazione sul territorio di indizi la cui consistenza geomorfologica, lito-stratigrafica, topografica, idrogeologica può rappresentare il preludio o elementi predisponenti a fenomeni di dissesto e/o criticità geologiche.

Inoltre si è altresì ritenuto utile, al fine di predisporre una più organica rappresentazione dei dati territoriali come richiesti dalle diverse leggi regionali di riferimento urbanistico, definire alcuni elaborati di sintesi in cui fossero raccolti i dati rilevanti e caratterizzanti il territorio comunale rispetto a tutte le tematiche geologiche analizzate.

Il richiamato Titolo II art.11 "**Strumenti Urbanistici Generali**" della L.R.9/83, stabilisce che *"..... ogni comune della Regione dichiarato sismico o ammesso a consolidamento, è tenuto a predisporre indagini geologiche-geognostiche, ai fini della prevenzione del rischio. Le indagini dovranno reperire dati per la compilazione delle seguenti carte in scala 1:5.000:*

- *Carta geolitologica*
- *Carta della stabilità*
- *Carta idrogeologica*
- *Carta della zonazione del territorio in prospettiva sismica.*

e che .... *Le previsioni urbanistiche degli strumenti generali non possono prescindere dai risultati di dette indagini ".*

Al fine quindi di ottemperare a quanto imposto dalle Leggi vigenti in materia di urbanistica ed assetto del territorio, l'incarico affidato ha previsto la redazione dei seguenti elaborati tecnici e cartografici (in scala 1:10.000 e 1:5.000):

- Tavola G1 – Relazione geologica
- Tavola G2 – Carta di ubicazione delle indagini geognostiche
- Tavola G3 – Carta geolitologica e strutturale
- Tavola G4 – Carta delle coperture sciolte
- Tavola G5 – Carta dello spessore delle coperture sciolte
- Tavola G6 – Carta idrogeologica, idrologica e del sistema idrografico
- Tavola G7 – Carta del modello di elevazione digitale del terreno (DEM)
- Tavola G8 – Carta clivometrica
- Tavola G9 – Carta dell'esposizione dei versanti
- Tavola G10 – Carta geomorfologica
- Tavola G11 – Carta delle aree a maggiore pericolosità geomorfologica
- Tavola G12 – Carta inventario delle frane (ex Autorità di bacino Campania Centrale)
- Tavola G13 – Carta della pericolosità da frana (ex Autorità di bacino Campania Centrale)
- Tavola G14 – Carta del rischio da frana (ex Autorità di bacino Campania Centrale)

- Tavola G15 – Carta della pericolosità idraulica (Proposta di riperimetrazione del PSAI)
- Tavola G16 – Carta delle aree a rischio idraulico (Proposta di riperimetrazione del PSAI)
- Tavola G17 – Carta della stabilità integrata dei versanti
- Tavola G18 – Carta della categoria di sottosuolo e amplificazione stratigrafica (NTC 2018)
- Tavola G19 – Carta della categoria topografica e amplificazione topografica (NTC 2018)
- Tavola G20 – Carta delle aree a maggiore pericolosità sismica locale
- Tavola G21 – Sezioni geologiche rappresentative
- Allegato 1 – Prospezioni sismiche superficiali M.A.S.W.
- Allegato 2 – Indagini eseguite per il PRG e per il PdR del Comune di Forino.
- Allegato 3 – Indagini eseguite per altri lavori pubblici e privati nel Comune di Forino.
- Allegato 4 – Microzonazione Sismica – Relazione illustrativa e indagini sismiche HVSR
- Allegato 4.1 – Microzonazione Sismica – Carta delle indagini
- Allegato 4.2 – Microzonazione Sismica - Carta geologico tecnica
- Allegato 4.3 – Microzonazione Sismica - Carta delle MOPS.

Si ritiene necessario precisare che la *"Carta della stabilità integrata dei versanti - Tavola G17"* e la *"Carta delle aree a maggiore pericolosità sismica locale - Tavola G20"* sono state intese come rappresentazione delle criticità presenti sul territorio che potrebbero mettere in pericolo gli elementi esposti (antropico).

*In ogni caso è bene evidenziare che le considerazioni emerse in tali elaborati sono inerenti solo ed esclusivamente lo stato geologico dei luoghi senza alcuna interrelazione con l'antropico presente. Diversamente infatti sarebbe risultato un elaborato con valutazioni sul Rischio che esula, allo stato attuale, da quanto richiesto dalla legislazione in materia e dall'incarico ricevuto.*

## 2. Inquadramento territoriale del Comune di Forino

Il comune di Forino è situato in provincia di Avellino, confina a nord con il comune di Monteforte Irpino (AV), a Ovest con i comuni di Moschiano (AV) e Quindici (AV), a Sud con quelli di Bracigliano (SA) e Montoro (AV), mentre ad est confina con il Comune di Contrada (AV) (Fig. 1).

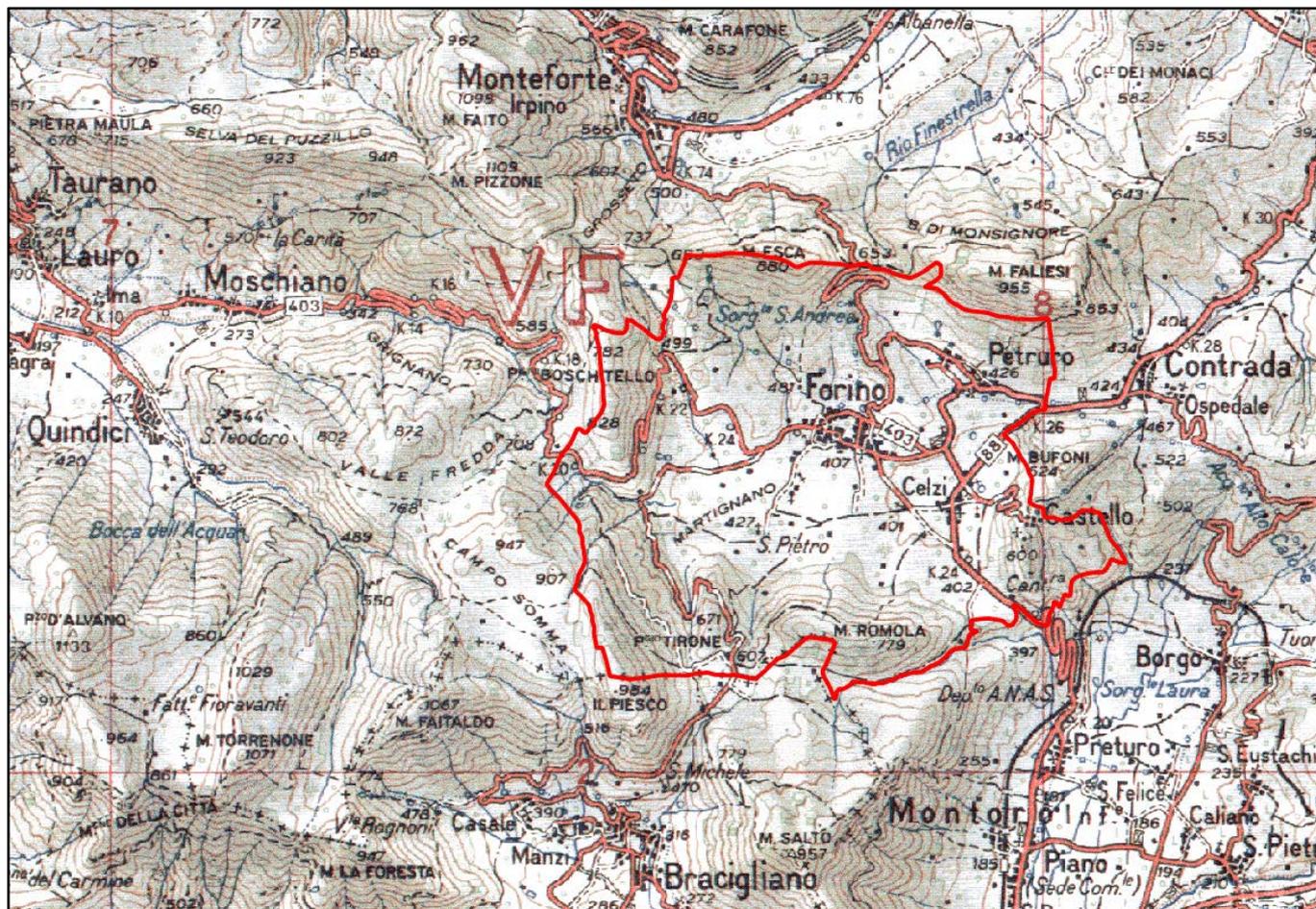


Fig. 1 – Stralcio I.G.M. scala 1:250.000

L'abitato è composto dal capoluogo e dalle frazioni di *Castello*, *Celzi* e *Preturo* e da altri piccoli agglomerati sorti nel dopoguerra. È situato a circa 11 km dal comune capoluogo Avellino (Fig. 2).

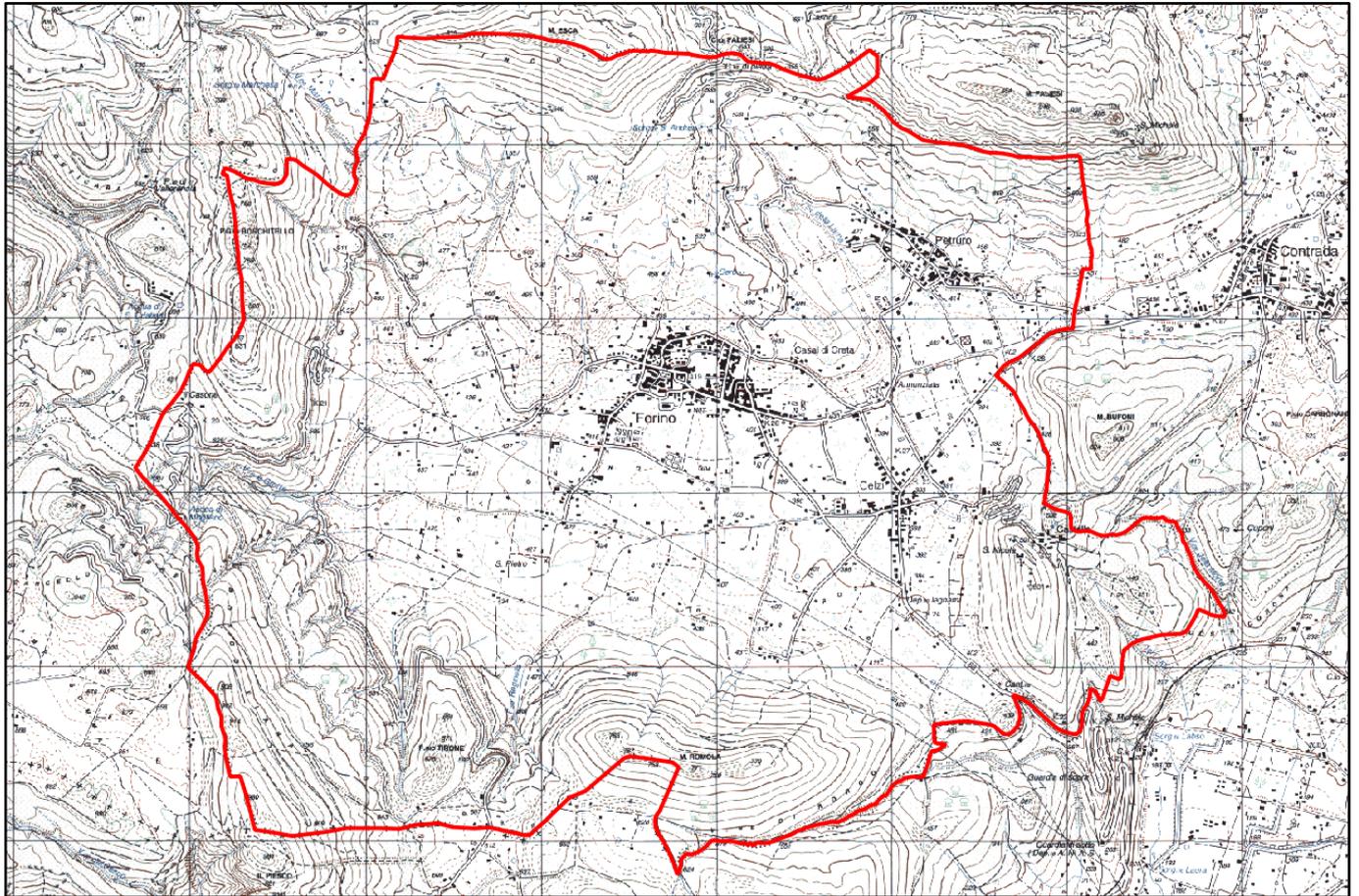


Fig. 2 – Stralcio I.G.M. scala 1:50.000

Nell'ambito della Carta Tecnica Numerica Regionale, alla scala 1:5.000, il territorio di Forino ricade nei seguenti elementi cartografici (Fig. 3):

- N°449091 – Monteforte Irpino;
- N°449092 - Forino;
- N°449093 – Ponti di Vallerenola;
- N°449103 – Contrada;
- N°449104 – San Michele;
- N°449131 – Monte Romola;
- N°449134 – Bracigliano Nord;
- N°449144 - Preturo;

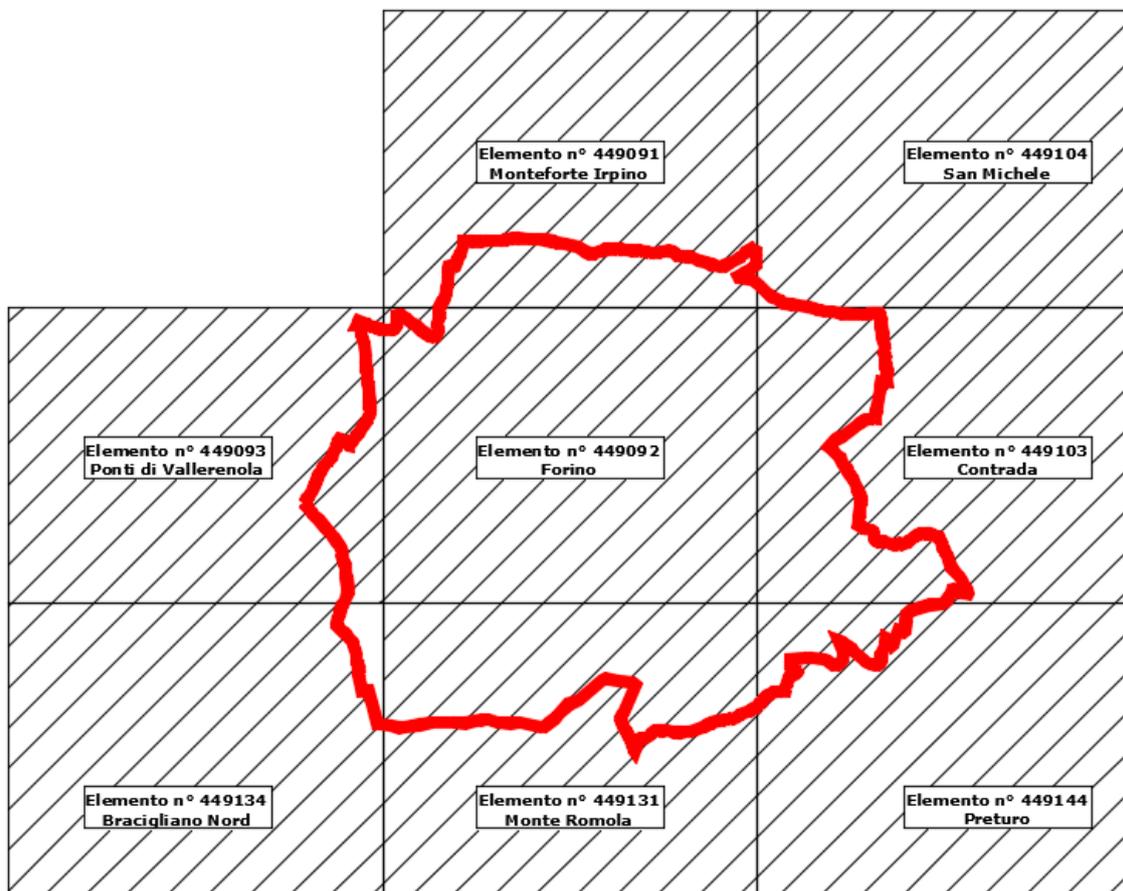


Fig. 3 – Elementi della Carta Numerica Regionale

Forino si estende su un territorio di 20,39 km/mq in una piana circondata da sette monti (Faliesi, Esca, Boschitello, Piana, Romola, San Nicola, Poggio Tirone, rilievi tutti di altezza inferiore ai 1000 metri) con un'altitudine media di 420 m s.l.m., con altezza minima di 249 m e altezza massima di 979 m (Fig. 4).

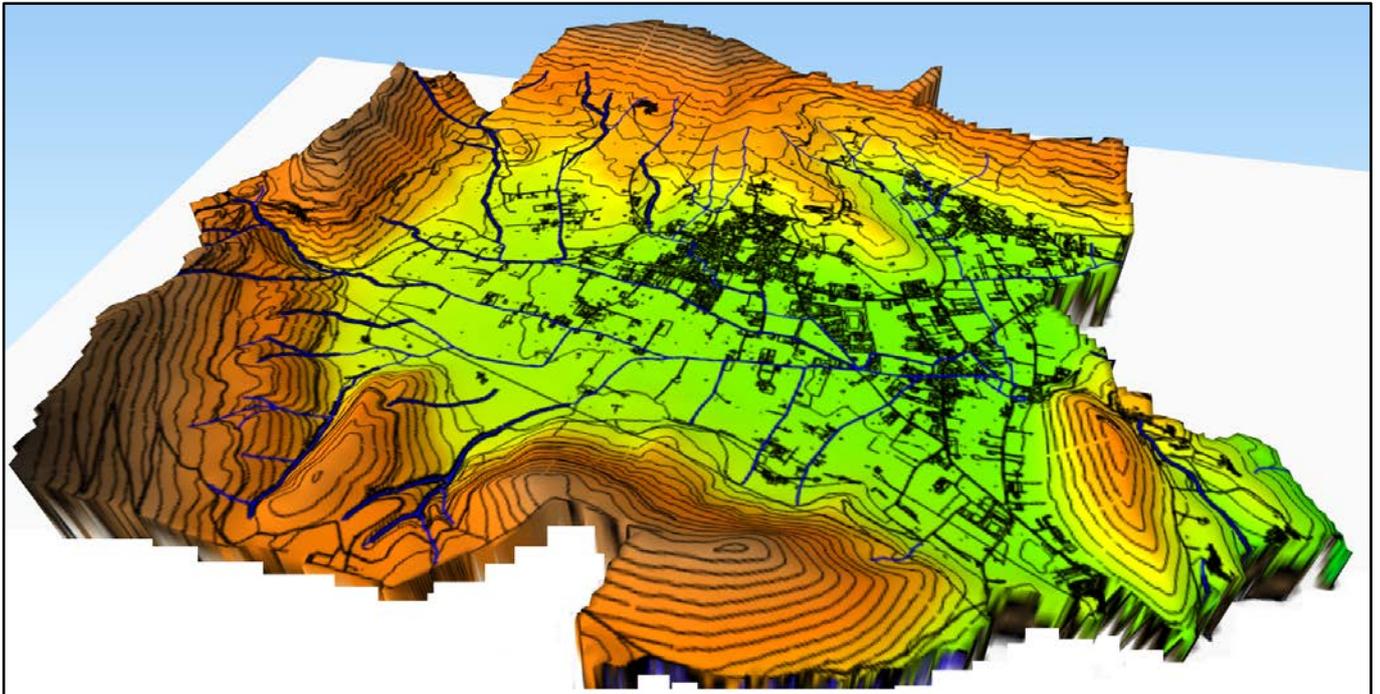
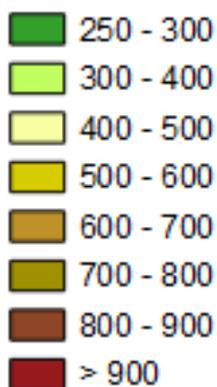


Fig. 4 – Modello di elevazione digitale del terreno del Comune di Forino

#### Legenda



Il territorio comunale di Forino si colloca nella parte orientale di una monoclinale carbonatica estesa in direzione NW-SE, costituita dalle alture comprese lungo la direttrice Pietra Maula (715 metri s.l.m.), Monte Pizzone (1109 metri s.l.m.), Monte Seca (890 metri s.l.m.) e Monte Faliesi (955 metri s.l.m.). Nella fattispecie, l'attuale assetto morfostrutturale dell'area di Forino è il risultato della complessa interazione tra processi tettonici e morfogenetici. Di fatto, nell'ambito dell'intera dorsale carbonatica essa rappresenta una "conca endoreica" di origine tettono-carsica.

I versanti che la bordano sono caratterizzati da un profilo trasversale che circa rettilineo interpretabile come scarpate di faglia che hanno subito un modellamento secondo il meccanismo della recessione delle pareti e parallela sostituzione di un pendio di trasporto-deposizione.

Tuttavia, anche se le originarie scarpate di faglia hanno subito un'evoluzione secondo un meccanismo che avrebbe dovuto portare alla formazione di un "versante regolarizzato", i versanti che bordano l'area d'interesse sono caratterizzati da elementi morfologici ad acclività maggiore dei pendii in roccia calcarea evoluti secondo il meccanismo di cui sopra.

Detti elementi oltre ad essere dovuti a fattori strutturali sono dovuti anche a cornici di morfoselezione. Queste ultime si rinvengono a varie altezze lungo i versamenti di Poggio Boschitello, Monte Esca e Monte Faliesi, interrompendo la stratificazione della sequenza carbonatica attraverso pareti subverticali e/o free face sommitali che rappresentano zone di potenziale innesco di fenomeni di crollo. Va altresì precisato che nell'ambito del territorio in esame i processi morfodinamici in atto lungo i versamenti meridionali risentono della condizione geologico-stratigrafica a seconda se si considera il settore nord-occidentale e/o nord-orientale rispetto all'abitato.

Di fatto, mentre i versanti ricadenti nel settore nord-occidentale sono ammantati da coperture piroclastiche tardoquaternarie, nel settore nord-orientale le stesse coperture poggiano su di un substrato relativo caratterizzato da terreni di natura flyschoidi (miocene inf.) giustapposto al substrato carbonatico. I termini osservati in affioramento e riconducibili ai terreni flyschoidi sono litotipi ascrivibili a calcareniti, breccie calcaree, arenarie arcose litiche e marne. I litotipi descritti sono caratterizzati da frequenti intercalazioni argillose.

Per quel che concerne le coltri piroclastiche, esse sono ampiamente diffuse in tutto il territorio in esame e sono riferibili, principalmente, agli eventi eruttivi dell'apparato vulcanico del Somma-Vesuvio. Tali prodotti sono ascrivibili alle seguenti eruzioni pliniane:

- *Formazione Ottaviano (Rolandi et Ali 1933) di età 8.000anni;*
- *Formazione di Avellino (Arno et Ali 1987) di età 3.550anni;*
- *Formazione del 472 d.C. (Rosi et Ali 1983).*

La distribuzione orizzontale e verticale di tali terreni varia molto dà luogo a luogo in funzione della morfologia del tetto del substrato d'appoggio e dei processi di degradazione fisica che si sono realizzati lungo i versanti bordieri.

Lungo i versanti le coperture piroclastiche fanno registrare condizioni stratigrafiche complesse; si ritrovano alternati livelli e/o banchi di pomice e strati di piroclastiti, spesso clinostratificati, con potenza e continuità laterale condizionata fortemente dalla preesistente morfologia d'appoggio. Si tratta generalmente di depositi da *fall* in assetto primario che, dato il particolare meccanismo di messa in posto, tendono ad adattarsi alla morfologia colmando le depressioni e le asperità del substrato d'appoggio.

La deposizione dei prodotti da *fall* su versanti acclivi predispone le piroclastiti ad ulteriori adattamenti; l'azione della forza di gravità e la normale dinamica esogena (dilavamento, erosione lineare, trasporto fluvio-torrentizio e dissesti diffusi in varie forme), determinano un'ulteriore mobilitazione di questi materiali con una conseguente condizione di rideposizione, ovvero in assetto secondario o rimaneggiato.

I depositi risedimentati si rivengono, generalmente, in concavità morfologiche preesistenti e interessate da eventi franosi pregressi, lungo le sponde acclivi degli impluvi, nella fascia pedemontana di raccordo con il versante sotto forma di *colluvium*, allo sbocco dei valloni dove diventano parte integrante dei corpi deposizionali sotto forma di conoidi.

Le osservazioni dirette effettuate sui fenomeni franosi hanno evidenziato che i fenomeni di primo distacco, *debris slides*, sono concentrati tra le quote 520 e 480 s.l.m. e si originano dai versanti che bordano gli impluvi caratterizzati da pendenze talora anche superiori a 40°.

Generalmente il movimento iniziale della massa dei terreni piroclastici e di tipo slide traslazione e/o rotazione che se pur mobilita entità di volumi limitati, generalmente inferiore ai 15-20 metri cubi, le acclività e la micromorfologia dei luoghi (traccia d'impluvi e vallette a fondo concavo) favoriscono la propagazione del fenomeno verso valle inglobando (per asportazione ed incorporazione) terreni di copertura sempre maggiori fino a far affiorare, in taluni casi, il substrato carbonatico lungo il canale di flusso. La forma triangolare riscontrata in gran parte dei fenomeni è uno dei caratteri tipici delle frane in individuate.

La propagazione verso valle prevede il coinvolgimento di volumi sempre maggiori di terreno perchè va ampliandosi la fascia d'azione del fenomeno, fino a raggiungere la tipica conformazione a "triangolo isoscele". È evidente che se sussistono le condizioni morfologiche ed idropluviometriche, i fenomeni in esame si possono canalizzare ed evolvere, inglobando i depositi detritico-alluvionali disponibili alla mobilitazione in alveo, in debris flows (Fig. 5).

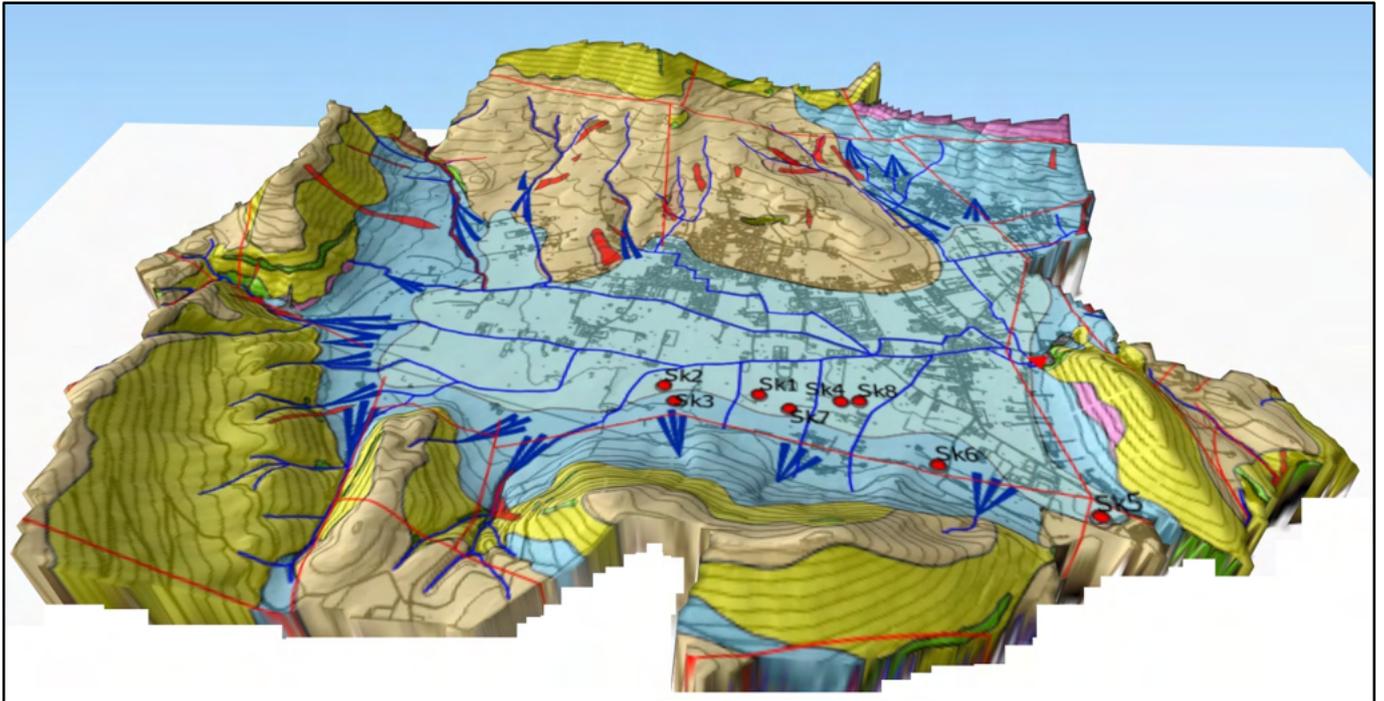


Fig. 5 – Formazioni geologiche affioranti nel territorio comunale

#### Legenda

- PP - piroclastici giacitura primaria
- PR - piroclastici rimaneggiate
- a - depositi antropici
- Area di frana
- Area di frana quiescente
- Dce - Depositi di conca endoreica
- Dt2a - Depositi di versante eluvio-colluviali
- Dt1a - Depositi di versante a grossi blocchi
- UCP - Formazione di corleto perticara
- CMT - Calcari di Meta

### 3. Principali elementi di geologia regionale

#### 3.1 Assetto geologico della Campania

L'Appennino campano, e più in generale l'Appennino meridionale, è un edificio "a falde di ricoprimento" in cui le unità stratigrafico-strutturali sono impilate in un prisma di accrezione con vergenza orientale sviluppatosi durante il Neogene sopra la zolla Adria, in subduzione verso Sud-Ovest. In questo schema geodinamico le unità paleogeografiche più interne (poste ad Ovest) sono sormontate sulle esterne e assieme a queste hanno avanzato verso Est, sino a sovrapporsi all'avampaese, coinvolto anch'esso nella subduzione verso Ovest. Nell'ambito della struttura della catena appenninica, sono compresi i depositi delle piattaforme carbonatiche mesozoiche e le successioni dei bacini, tra esse interposti, che si sviluppavano sul margine continentale africano. Sono presenti, inoltre, frammenti del dominio oceanico Liguride, frammenti del dominio Sicilide e depositi neogenici sedimentati in bacini sinorogeni, di avanfossa e di avampaese. La struttura dell'Appennino meridionale è resa ancora più complessa dall'apertura recente (post-Tortoniana) del Mar Tirreno, durante la quale il prisma d'accrezione è stato smembrato, andando a costituire il margine occidentale del Tirreno stesso.

Pur nell'ambito del modello "a falde di ricoprimento", le interpretazioni della struttura dell'Appennino meridionale sono varie, soprattutto per ciò che riguarda il numero delle unità stratigrafico-strutturali e i loro rapporti reciproci. Pertanto la schematizzazione alla quale si farà riferimento è da considerarsi una delle possibili interpretazioni. Di seguito si descriveranno le principali caratteristiche delle unità stratigrafico-strutturali che costituiscono la catena dell'Appennino meridionale, facendo specifico riferimento alla loro paleogeografia. La descrizione procederà dalle unità stratigrafico-strutturali più alte verso quelle più basse, quindi dalle unità paleogeografiche più interne verso quelle più esterne.

Le unità ascrivibili al dominio Liguride, depostesi su crosta oceanica, sono le unità più interne e quindi collocate nella parte sommitale della catena. Tra di esse, sono state riconosciute diverse unità, ma con rapporti reciproci di natura tettonica molto complessi: Unità del Frido, Unità Nord-Calabrese, Unità dei terreni ad affinità Sicilide. Queste unità affiorano tra il Cilento ed il confine calabro-lucano. Esse sono state coinvolte dalle prime fasi deformative che hanno contrassegnato l'inizio della subduzione continentale, tra l'Oligocene superiore ed il Burdigaliano.

L'unità ascrivibile al dominio Sicilide, depostasi su crosta continentale assottigliata tra il Cretaceo inferiore e il Miocene inferiore, si presenta sempre intensamente tettonizzata e smembrata in differenti unità tettoniche. Essa si ritrova a varie altezze strutturali nell'ambito dell'edificio appenninico, per l'elevata mobilità delle sue falde, che in molti casi hanno sopravanzato il fronte delle coltri alloctone. In posizione strutturalmente più bassa, si ritrovano le unità stratigrafico-strutturali originariamente impostate su crosta continentale africana.

Queste unità sono costituite da potenti successioni calcaree, con i relativi margini transizionali verso le facies di bacino oppure da successioni prevalentemente argilloso-silicee. Ciascuna di queste successioni sedimentarie è ascrivibile paleogeograficamente, in base al principio

dell'attualismo, agli ambienti delle attuali piattaforme carbonatiche delle fasce tropicali cui erano interposti bacini profondi. Il numero delle suddette unità paleogeografiche, piattaforme carbonatiche e bacini interposti, è un problema non risolto, tuttavia esse possono essere schematizzate, procedendo progressivamente verso le unità più esterne in: Piattaforma Carbonatica Campano-Lucana, Bacino Lagonegrese, Piattaforma Carbonatica Abruzzese-Campana, Bacino Molisano, Piattaforma Apula e Bacino Est-Garganico. Queste unità paleogeografiche si sono impostate su un basamento ercinico, ricoperto da depositi terrigeni in un ambiente di piattaforma continentale sul quale inizia, a partire all'Anisico, la sedimentazione di una primordiale piattaforma carbonatica.

Successivamente, tra il Carnico ed il Giurassico inferiore, porzioni della suddetta piattaforma vengono ribassate da fasi tettoniche che generano la formazione di aree di bacino che conservano la loro individualità fino al Miocene inferiore.

Nelle aree di piattaforma, per tutto il Mesozoico, procede la sedimentazione carbonatica in maniera pressoché continua, disturbata solo da brevi eventi di emersione che ne determinano l'interruzione della sedimentazione. Per tali motivi, e per la lenta subsidenza delle piattaforme carbonatiche, la sedimentazione carbonatica, durante il Mesozoico, ha prodotto fino a 4000 m di successioni sedimentarie. Nel Paleogene si assiste ad un'emersione delle piattaforme carbonatiche che quindi interrompe la successione sedimentaria, determinando vaste lacune stratigrafiche, dovute anche all'erosione delle parti di piattaforma emersa. Successivamente, per l'avvicinarsi del fronte delle coltri alloctone, a partire dal Miocene inferiore, le piattaforme sono soggette ad un rapido annegamento, testimoniato dalla presenza, prima di facies di transizione a bacino e, poi, da sedimenti torbiditici tipicamente di bacino.

Nelle aree bacinali interposte tra le piattaforme, durante il Mesozoico, si è manifestata una sedimentazione di ambiente profondo contraddistinta da depositi tipicamente argillosi e silicei per spessori fino 1000÷2000 m. Successivamente, a partire dal Neogene i bacini vengono rapidamente colmati con depositi terrigeni torbiditici, che testimoniano l'arrivo del prisma di accrezione. Durante l'orogenesi, l'arrivo del fronte delle coltri alloctone sulle unità paleogeografiche via via più esterne, ha alterato profondamente la sedimentazione in questi paleoambienti, mutandola rapidamente in una sedimentazione flyschoidale, sempre in discordanza con il substrato, e spesso con il carattere di wildflysch. Ad esempio, per ciò che riguarda il coinvolgimento della Piattaforma Carbonatica Campano-Lucana nell'edificio appenninico, l'arrivo del fronte orogenetico deforma profondamente la suddetta unità paleogeografica, sradicandola dal suo substrato originario e impilandola nel prisma di accrezione. In questo ambito geodinamico s'instaura, a partire dal Langhiano, sul fronte del prisma di accrezione, un bacino subsidente (il Bacino Irpino); questo tende a migrare verso l'esterno e dà luogo ad una sedimentazione, sempre discordante con il substrato, che prosegue diacronicamente sino al Miocene superiore.

Le successioni sedimentarie che ne derivano, con carattere eminentemente torbiditico, affiorano sul fronte della catena e vengono denominate Unità Irpine. Esse marcano cronologicamente l'arrivo del fronte delle coltri alloctone. Con lo stesso significato geodinamico

può essere considerata la sedimentazione terrigena torbiditica del Gruppo del Cilento che si ritrova prevalentemente sovrapposta in discordanza alle unità del dominio Liguride, deformate a partire dalla fine dell'Oligocene. Dopo le principali fasi orogenetiche, ovvero dopo il Tortoniano, si depongono unità costituite da evaporiti (Formazione gessoso-solfifera), da depositi clastici (Tortoniano superiore-Pliocene medio), affioranti in aree interne (Unità di Altavilla) e sul fronte della catena (Unità della Fossa Bradanica). Le successive fasi tettoniche plio-pleistoceniche hanno deformato le precedenti unità, e, inoltre, hanno generato bacini intramontani nei quali si sono sedimentate unità molassiche (Unità di Ariano).

Nel Pliocene, si sviluppano manifestazioni di vulcanismo orogenetico, con magmatismo di tipo calcalino potassico, in ampie porzioni del versante tirrenico (Roccamonfina, Campi Flegrei e Somma-Vesuvio); mentre, in posizione esterna alla catena, si instaura il vulcano del Vulture che, per la sua posizione, assume un diverso significato geodinamico. Nello stesso periodo, l'edificio appenninico è soggetto a fasi di sollevamento e a fasi tettoniche distensive e disgiuntive che ne determinano l'attuale fisionomia.

La Piattaforma Carbonatica Campano-Lucana costituisce in Campania il gruppo montuoso dell'Avella-Partenio, Monti Lattari e Monti Picentini nonché il gruppo dell'Alburno-Cervati e il Monte Marzano. Essa presenta due fasce di transizione verso depositi bacinali ad Ovest e ad Est (Unità Verbicaro, Unità del Monte Foraporta e Unità dei Monti della Maddalena). Le unità del Bacino Lagonegrese affiorano nell'area settentrionale e centrale della Campania, nelle finestre tettoniche dei Monti Picentini. La piattaforma carbonatica Abruzzese-Campana è rappresentata diffusamente nei Monti del Matese, Monte Maggiore, Monte Camposauro, Monte Massico, Monte di Suio.

I terreni del Bacino Molisano affiorano in Molise, a Nord-Est del Monte Matese. In definitiva, l'Appennino meridionale è caratterizzato da una struttura articolata e complessa, derivata dall'impilamento di numerose unità stratigrafico-strutturali che sono riconducibili alla deformazione di unità paleogeografiche preesistenti.

Le unità stratigrafico-strutturali che costituiscono l'Appennino meridionale sono contraddistinte da caratteristiche litologiche generalmente molto diverse, poiché formatesi in ambienti sedimentari e contesti geodinamici molto dissimili. Le differenze litologiche influenzano macroscopicamente, anche a scala regionale, la distribuzione, il reperimento e le problematiche della salvaguardia delle risorse idriche sotterranee sul territorio.

Infatti, già ad un'analisi preliminare, risulta evidente che le potenti successioni carbonatiche di piattaforma, tra le più importanti unità stratigrafico-strutturali dell'Appennino meridionale costituiscono gli elementi di maggiore importanza idrogeologica oltre che quelli di maggiore rilevanza orografica del territorio. Esse, per l'elevata permeabilità dei litotipi calcarei e per la grande estensione areale, costituiscono i principali acquiferi dell'Appennino meridionale in termini di potenzialità delle acque sotterranee. Lo schema di circolazione idrica sotterranea nelle unità carbonatiche è condizionato principalmente dai rapporti geometrici con le altre unità stratigrafico-strutturali, costituite da litotipi a minore permeabilità, ascrivibili paleogeograficamente ad ambienti di bacino, *pre* o *sinorogeni*, o a facies di transizione a bacino.

### 3.2 Assetto strutturale regionale

La Campania comprende nel settore centro-settentrionale parte del segmento molisano-sannitico dell'Arco appenninico meridionale, mentre nel settore meridionale parte del segmento campano-lucano dell'Arco appenninico meridionale. Per quanto riguarda l'assetto strutturale del tratto di catena del segmento molisano-sannitico compreso nella regione campana.

L'Unità Alburno-Cervati poggia tettonicamente sull'Unità del Matese nei M.ti di Caserta e nella zona del Monte Taburno-Monte Camposauro. Nel Matese orientale l'Unità del Matese è ricoperta con contatto stratigrafico discordante dai depositi della formazione di Caiazzo, che rappresentano i depositi di riempimento di un bacino impostato sulle coltri di ricoprimento, in prossimità del margine del fronte della catena. Sull'Unità del Matese e sui depositi della formazione di Caiazzo poggia tettonicamente l'Unità del Sannio. Quest'unità a sua volta, nelle aree esterne dei Monti del Sannio ricopre tettonicamente le successioni dell'Unità del Fortore e dell'Unità Daunia. L'Unità del Fortore a sua volta è sovrapposta alle successioni dell'Unità Daunia.

Sulla coltre sannitica e sull'Unità del Fortore poggiano con contatto stratigrafico discordante le successioni della formazione di San Bartolomeo del Messiniano inferiore, che rappresentano i depositi di riempimento di un bacino impostato sulle coltri di ricoprimento nel Messiniano inferiore. Gli elementi strutturali più alti nel tratto di catena del segmento campano-lucano compreso nella regione campana sono l'Unità Sicilide Auct. e l'Unità Liguride Auct. che, nel Cilento, sono sovrapposti all'Unità di Monte Bulgheria e all'Unità Alburno-Cervati.

In quest'area, inoltre, l'Unità del Monte Bulgheria ricopre tettonicamente l'Unità Alburno-Cervati. Nel settore sud-orientale della Campania l'Unità Alburno-Cervati, su cui poggiano con contatto stratigrafico discordante i depositi della Formazione di Castelvetere del Tortoniano inferiore, ricopre tettonicamente le successioni dell'Unità dei Monti della Maddalena e le successioni lagonegresi. Nei M.ti della Maddalena le successioni dell'Unità dei Monti della Maddalena risultano geometricamente sovrapposte alle successioni lagonegresi.

Nella finestra tettonica di Campagna, che rappresenta uno dei principali alti strutturali dell'Appennino meridionale, l'Unità Alburno-Cervati e l'Unità di Lagonegro sono geometricamente sovrapposte all'Unità del fiume Tusciano, che a sua volta, nella zona di Monte Croce, ricopre tettonicamente successioni di piattaforma, che potrebbero rappresentare le ultime propaggini verso sud della piattaforma abruzzese-campana.

Nella fascia appenninica compresa tra Benevento ed il fiume Ofanto sulle successioni lagonegresi e su quelle dell'Unità del Fortore poggiano con contatto stratigrafico discordante i depositi di bacini impostati sulle coltri di ricoprimento della catena appenninica tra il Tortoniano superiore ed il Pliocene medio p.p.; il Ciclo di Villamaina del Tortoniano superiore-Messiniano inferiore; il Ciclo di Altavilla del Messiniano-Pliocene inferiore p.p.; il Ciclo di Ariano del Pliocene inferiore p.p.-Pliocene medio p.p..

La tettonica distensiva che interessa la catena appenninica tra la parte alta del Pliocene superiore e il Pleistocene inferiore conferisce all'area in esame l'assetto attuale.

L'Appennino meridionale ha avuto origine a seguito di movimenti reciproci di avvicinamento tra le masse continentali europea ed africana. Questi movimenti hanno generato spostamenti orizzontali ed accavallamenti dei terreni, con deformazioni del substrato che hanno interessato anche le rocce profonde. Una volta esauritesi le spinte orizzontali, le masse, che fino a quel momento si trovavano in una fase di equilibrio (forzato), hanno cominciato a tendere ad un nuovo equilibrio, dando luogo ad una serie di assestamenti verticali.

Gli assestamenti, consistiti in abbassamenti e sollevamenti, sono iniziati sul versante tirrenico, si sono propagati verso il lato centro-orientale e sono tutti posizionati in fasce parallele alla catena appenninica, lungo aree allungate in direzione NO-SE, delimitate sia ad Est che ad Ovest da zone di faglie. La fascia che per prima è stata soggetta ad assestamenti e che prima ha raggiunto un nuovo equilibrio, è delimitata da faglie dirette con rigetti verticali di migliaia di metri, che ad occidente presentano immersioni verso il Tirreno e ad est verso l'Adriatico.

Tale fascia comprende la zona delimitata dalla linea di costa ed i rilievi calcarei dell'alta Val d'Agri (Monti della Maddalena), dai Monti Picentini e dal Matese orientale. Terminati questi movimenti, sono iniziati quelli caratterizzati da movimenti di sollevamento della zona centro-orientale del gruppo montuoso appenninico, delimitata ad ovest dalle alte Valli dell'Agri, del Melandro, del Sele, del Calore e dell'area di Benevento e del Matese orientale e ad est dalla linea Melfi, Bisaccia, Baronia, fino al bordo orientale della catena.

Anche in questo caso la fascia, ampia dai circa 30 ai circa 35 Km, è bordata da faglie dirette con immersione, ad ovest, verso il tirreno e, ad est, verso l'Adriatico. Studi scientifici riportano che i movimenti di assestamento in questa ultima fascia sono iniziati circa 700.000÷800.000 anni fa, si sono protratti fino a circa 200.000 anni fa, frequentemente con forte intensità e che ancora si hanno notevoli squilibri delle masse profonde, che tendono a raggiungere l'equilibrio sollevandosi lentamente.

La geologia e la tettonica dell'area evidenziano, inoltre, che i sollevamenti si registrano lungo le faglie che bordano la zona, rappresentate da faglie insediate in unità sedimentarie della potenza di circa 10-12 Km, connesse – anche se non direttamente corrispondenti – a strutture profonde. Sono proprio i movimenti di queste ultime strutture, dovute alla tendenza ad innalzarsi delle masse profonde per raggiungere l'equilibrio, che determinano il movimento delle masse più superficiali, per la spinta che operano dal basso verso l'alto. Le linee di trazione, comunque, non hanno corrispondenza con le faglie superficiali, data la notevole eterogeneità, anche verticale, delle masse rocciose costituenti il substrato.

Le unità formazionali più superficiali, costituite da terreni sedimentari di varia natura e che posseggono spessori variabili fino a 10÷12 Km, sono deformate e dislocate, a seguito delle varie fasi tettoniche che le hanno interessate a partire dal Miocene Inferiore.

Alla struttura profonda, interessata da faglie dirette, in superficie corrisponde una fascia ampia alcuni chilometri, in cui sono presenti faglie dirette recenti, che non rappresentano il prolungamento delle deformazioni profonde, anche se sono state provocate da queste.

Lungo i margini di questa fascia sono state individuate strutture superficiali connesse con quelle profonde, lungo le quali si originano i terremoti.

Le principali strutture sismogenetiche nel tratto di Appennino di interesse, sono individuabili lungo l'allineamento: alte Valli dell'Agri-Melandro-Sele-Ofanto-Calore-Zona di Benevento-Matese orientale e lungo la zona delimitata da Melfi-Baronia (ad est)-Bisaccia-Ariano Irpino.

L'analisi storica dei terremoti evidenzia che le aree epicentrali sono ubicate in corrispondenza delle faglie che delimitano ad est e ad ovest la fascia di recente sollevamento. Qui avviene che lo scorrimento verso l'alto della fascia della catena si concretizza lungo le faglie principali, dove si esercitano i preminenti attriti tra le masse in sollevamento e quelle laterali stabili. In corrispondenza dei livelli di terreni rigidi presenti in profondità si hanno le maggiori resistenze che si oppongono al sollevamento. Quando queste forze vengono vinte da quelle che spingono verso l'alto le masse instabili, si ha la rottura delle masse rocciose profonde, con la liberazione dell'energia accumulata che si propaga provocando danni in superficie.

Rilievi eseguiti dopo il sisma del 23/11/1980 hanno messo in evidenza (come riportato in Atti di convegni) che lungo le faglie di superficie, in corrispondenza delle strutture sismogenetiche profonde, non si sono avuti movimenti di riattivazione. Locali movimenti rilevati, sono da mettere in relazione alle diverse caratteristiche geotecniche dei terreni.

Sono stati, invece, evidenziati locali movimenti del suolo; ma senza fratture. Quanto fin qui esposto consente di affermare che la pericolosità delle faglie di superficie è dovuta principalmente alla diversità delle caratteristiche meccaniche dei litotipi, non avendo a tutt'oggi notizie di faglie attive in superficie e non esistendo corrispondenza diretta tra le faglie di superficie e la struttura sismogenetica profonda.

## 4. Inquadramento geologico generale del territorio comunale di Forino

### 4.1 Geologia e geolitologia dell'area di studio

Dal punto di vista geologico l'area in esame è rappresentata nel Foglio 449 "Avellino" della Nuova Carta Geologica d'Italia alla scala 1/50.000 (Fig. 6).

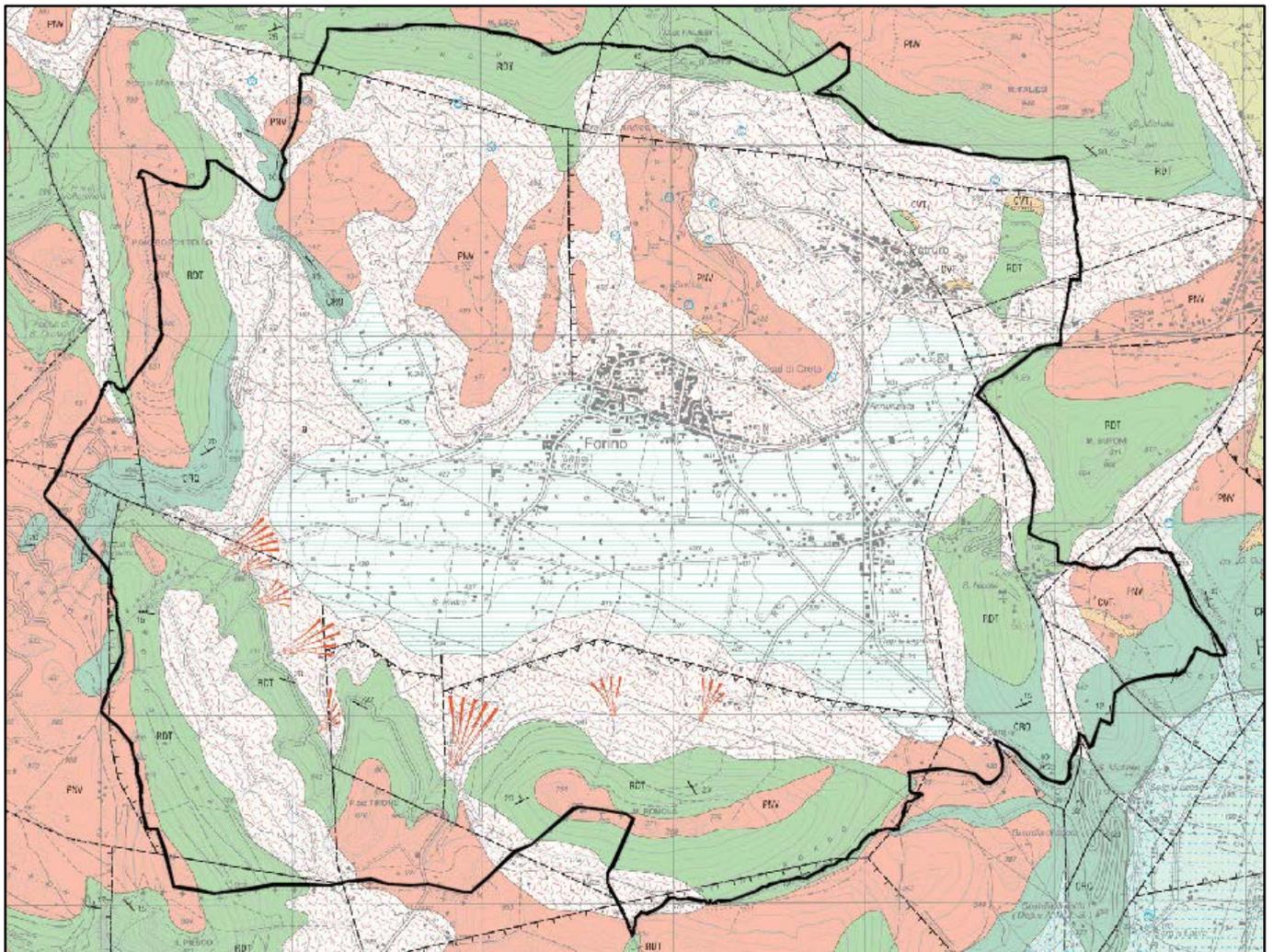


Fig. 6 - Stralcio della Nuova Carta Geologica d'Italia: Foglio 449 "Avellino"

#### Legenda



**a** DEPOSITO DI VERSANTE



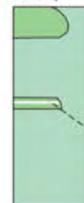
**e** DEPOSITO LACUSTRE E PALUSTRE



**PNV** UNITÀ DI PIANO DELLE SELVE



**RDT** UNITA' DEI MONTI LATTARI - MONTI PICENTINI  
CALCARI A RADIOLITIDI



**CRQ** CALCARI CON REQUIENIE E GASTEROPODI

**CRQ<sub>2</sub>**

L'area di studio ricade nel settore nord-orientale della Campania dove i massicci carbonatici ed alcuni rilievi collinari terrigeni sono stati ricoperti da pochi metri di depositi piroclastici da caduta (ceneri e pomice) associabili alle diverse eruzioni vulcaniche del Somma-Vesuvio.

Il substrato è costituito da calcari di piattaforma carbonatica, prevalentemente cretaci, riferibili all'unità stratigrafico-strutturale dei Monti del Partenio (Bonardi *et alii*, 1988) interessati da importanti faglie regionali che bordano anche la conca di Avellino. Quest'ultima rappresenta un basso strutturale in cui si sono conservati depositi terrigeni (mio-pliocenici) e i prodotti recenti tufacei dell'Ignimbrite Campana, preservati dall'erosione solo lungo le principali aste vallive (Giulivo & Santo, 1997).

Nel settore meridionale ed orientale della conca di Avellino affiorano, infatti, prevalentemente successioni torbiditiche marnoso-argillose mioceniche sinorogene, generalmente molto deformate con valori di permeabilità variabili e, nel complesso, medio-bassi. Esse costituiscono l'ossatura di alcuni piccoli rilievi che raggiungono i 700 m s. l.m. (M. Le Croci, M. Termito) su cui sorgono alcuni centri urbani, come quelli di Aiello, Contrada, Forino ed alcune frazioni della città di Avellino.

Su questi rilievi sono presenti, diffusamente, coperture piroclastiche costituite da alternanze di cineriti pedogenizzate, paleosuoli e livelli pomice, generalmente dello spessore compreso tra alcuni decimetri e pochi metri (Rolandi, 1997; Rolandi *et alii* 2000; Pareschi *et alii*, 2002).

La formazione più antica che si rinviene nel territorio comunale di Forino (Cretacico superiore) è rappresentata da una continua e potente serie sedimentaria di natura calcarea e calcareo-dolomitica, riferibile all'unità Monti Picentini (Bonardi *et al.*, 1988), che costituisce i complessi montuosi che circondano la piana su cui insiste il capoluogo. Il complesso è fortemente fratturato a causa delle vicissitudini tettoniche compressive e distensive plio-quadernarie, risultando, in definitiva, suddiviso in grossi blocchi separati da faglie subverticali, spesso con interconnessione di sedimenti terrigeni (Civita *et al.*, 1969).

Si riconoscono numerose faglie trascorrenti a movimento prevalentemente sinistro, con direzioni all'incirca est-ovest e nord-sud, che hanno disarticolato le successioni carbonatiche in vari blocchi monoclinali che risultano variamente basculati, anche se nel complesso sono mediamente immergenti verso nord. Le fasi tettoniche che hanno condizionato la genesi della piana di Forino, sono state attive in momenti diversi ed intervallate da periodi di relativa stasi come testimoniano alcuni versanti policiclici che conservano terrazzi di erosione sospesi a diverse quote (800, 600, 400 m s.l.m.).

In contatto stratigrafico sui versanti di strato calcarei e più spesso in contatto tettonico lungo piani di faglia, affiorano terreni miocenici in facies di flysch che sono ben osservabili in corrispondenza della collina Parianico. Qui affiorano successioni argilloso-arenacee ed argilloso-marnose, generalmente ben consolidate; tali terreni sono riferibili in letteratura alle unità irpine di età Serravalliano-Tortoniana (Civita *et al.*, 1969; Pescatore *et al.*, 1970; Patacca *et al.*, 1990).

Alcune perforazioni effettuate nella piana hanno mostrato come le profondità alle quali si rinviene il substrato miocenico sono bruscamente crescenti nel settore centrale e sud orientale della stessa.

A copertura delle formazioni appena descritte insiste un complesso quaternario, il cui spessore supera i 100 m, costituito prevalentemente da depositi piroclastici rimaneggiati (Rolandi, 1997; Giulivo & Santo, 1997), da depositi alluvionali e lacustri e, in prossimità dei rilievi, da detrito di falda (Figg. 7-8).

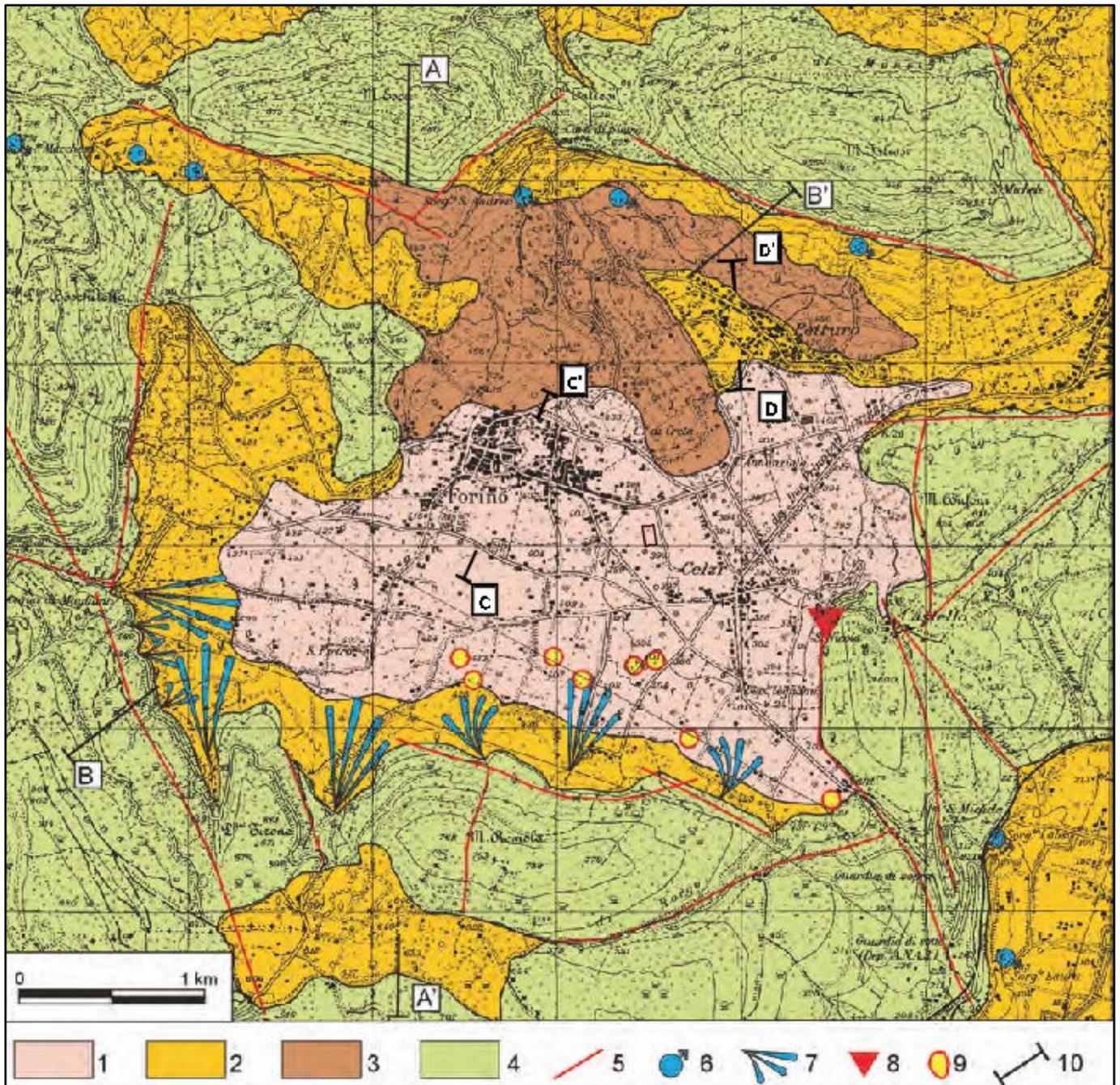


Fig. 7 - Schema geologico della piana di Forino. Legenda: 1) depositi piroclastici rimaneggiati e depositi alluvionali (Pleistocene sup.-Olocene); 2) detrito di versante (Pleistocene sup.-Olocene); 3) depositi in facies di flysch (Miocene); 4) calcari mesozoici; 5) faglia; 6) sorgente; 7) conoide alluvionale; 8) inghiottitoio; 9) sinkhole; 10) traccia di sezione di Fig. 8.

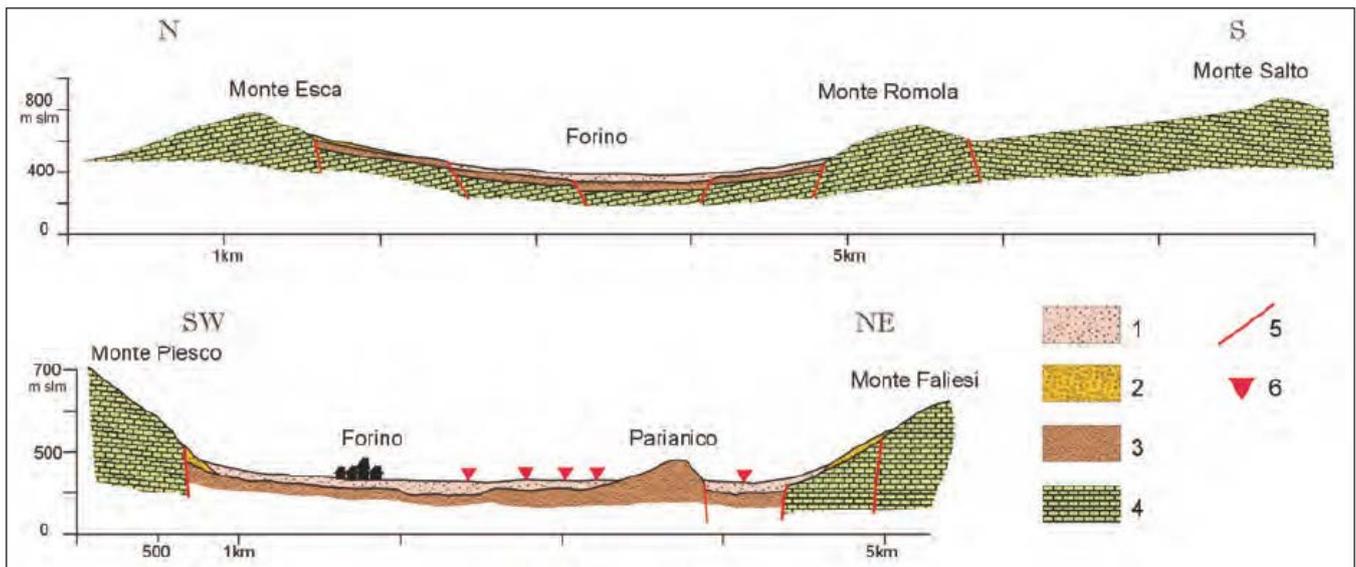


Fig. 8 - Sezioni geologiche del bacino di Forino. 1) depositi piroclastici rimaneggiati e depositi alluvionali (Pleistocene sup.-Olocene); 2) detrito di versante (Pleistocene sup.-Olocene); 3) depositi in facies di flysch (Miocene); 4) calcari mesozoici; 5) faglia; 6) sondaggi (da SANTO et al., 1998 mod.).

## 4.2 Caratteristiche litologiche del territorio comunale

Nel territorio comunale di Forino affiorano terreni di età compresa tra il Cretaceo ed il Quaternario. Questi terreni si possono ripartire in tre distinti gruppi:

1. nel primo dei quali si includono le rocce costituenti il massiccio vero e proprio, cioè i rilievi calcarei che bordano il territorio comunale lungo tutto il suo perimetro;
2. nel secondo gruppo vanno posti i terreni miocenici arenacei ed argillosi che con contatto tettonico sui calcari costituiscono il substrato di buona parte della pianura piana con affioramenti sporadici nel dosso collinare Parianico che separa il bacino principale di Forino da quello secondario di Preturo e a nord dell'abitato di Preturo;
3. il terzo gruppo è rappresentato dalla serie più recente, cioè numerosi tipi litologici costituenti una copertura più o meno spessa adagiata sui fianchi carbonatici e nella depressione centrale: si tratta di depositi piroclastici in prevalenza, alluvioni e detrito di falda.

La serie carbonatica, a comportamento rigido, comprende terreni, tutti di origine sedimentaria. Risalendo la serie si passa dai calcari nocciola a grana fine ai calcari detritici e quindi ai livelli clastici del Cretaceo superiore intervallati talora da breccie poligeniche calcaree a cemento spatico.

La disposizione giaciturale della serie è in genere con immersione a nord con localizzate variazioni a sud sud-ovest. Detta serie carbonatica è attraversata da due sistemi di faglie con direttrici tettoniche orientate secondo i meridiani e i paralleli con specchi quasi sempre tendenti alla verticalità.

Tra le più importanti faglie sono state cartografate la linea che taglia M.te Faliesi e M.te Esca nel loro margine meridionale, P.gio Boschitello e M.te Romola nel suo margine orientale. In ogni caso si tratta di lineamenti strutturali privi di elementi probanti diretti di attività recenti.

Nella parte nord-orientale del centro abitato (collina Parianico) emerge la placca flyschoidale poggiata sul substrato carbonatico verso nord e costituente il substrato della piana. La formazione miocenica è rappresentata essenzialmente da argille grigio-verdastre, giallastre e plumbee, passanti talora a marne con aspetto leggermente siltoso. Il deposito pelitico spesso presenta intercalazioni di materiale sabbioso che in diversa proporzione modifica talora sostanzialmente l'aspetto plastico generale. Nella massa argillosa prevalente sono intercalati livelli litoidi costituiti da calcari marnosi ed arenarie.

I calcari marnosi, sublitostigrafici, sui toni del grigio ed avana con superficie di alterazione giallastra, sono percorsi da una fitta rete di fratture riempite di calcite, per cui acquistano una tendenza a rompersi in poliedri scomposti sotto forma di blocchetti. Non mancano implicazioni di argilloscisti varicolori con aspetto tipicamente scaglioso e con caratteristico colore vinato con alternanze grigie, grigio-plumbee e verdastre.

A copertura dei terreni sin qui descritti si rilevano nel territorio comunale formazioni appartenenti a diversi ambienti e a diverse litofacies: alluvioni, detrito di falda e materiali piroclastici. Le formazioni alluvionali sono abbastanza ben rappresentate anche se la loro estensione areale sarebbe ben maggiore di quanto non appaia in superficie se non fossero in gran parte ricoperte da detrito di falda.

La demolizione piuttosto rapida e la successiva rideposizione di materiali provenienti dalle serie antiche ha dato luogo ad un complesso colluvio-alluvionale che si estende in tutta la piana. Le caratteristiche litologiche del complesso sono estremamente variabili da luogo a luogo a seconda della prevalenza degli apporti clastici: generalmente si tratta di sabbie a granulometria variabile ma ben classata; il colore d'insieme è il grigio-scuro, punteggiato da residui pomicei fortemente lisciviati. Si rilevano ancora spessori più o meno variabili di materiali piroclastici incoerenti o litoidi.

Si tratta prevalentemente di tufi incoerenti e/o pseudocoerenti, terrosi, a volte pomicei, giallastri e grigiastri. La cementazione è quasi sempre molto scarsa anche se non mancano vere e proprie placche di tufo litoide; talora si individuano intervalli fortemente argillificati. Sono ancora frequenti banchi pomicei con disposizione lentiforme.

Estese fasce detritiche si rinvencono ai piedi dei rilievi maggiori. Il detrito, quasi sempre composto da elementi carbonatici, è comunque sempre commisto a piroclastiti rimaneggiate e ad argille residuali della dissoluzione dei calcari.

### 4.3 Depositi quaternari della piana di Forino

La conca di Forino (AV) costituisce un bacino endoreico di circa 10 km<sup>2</sup> ed altitudine media di 400 m s.l.m. localizzato pochi km a sud della città di Avellino tra i rilievi carbonatici di Pizzo D'Alvano, e dei M.ti Picentini. Essa costituisce un bacino endoreico bordato da rilievi calcarei di età cretacea e da successioni terrigene mioceniche. I flysch sono presenti anche in profondità nella piana e ricoperti da uno spesso strato di depositi alluvionali e piroclastici.

La genesi della depressione è associata all'azione di faglie attive durante il Plio-Quaternario che hanno dislocato le dorsali calcareo mesozoiche su cui poggiano, in trasgressione, successioni terrigene mioceniche. Nel centro della piana, il substrato miocenico ed i sottostanti calcari risultano ribassati a gradinata sino ad un massimo di poche centinaia di metri.

Il riempimento quaternario è costituito da potenti successioni fluvio-lacustri, per lo più di natura limo-argillosa, che sono ricoperte da tufi dell'Ignimbrite Campana (39.000 anni; DE VIVO *et al.*, 2001) e poi da alternanze di limi e sabbie legate a piroclastiti rimaneggiate.

Gli ultimi 15÷20 m del riempimento della piana sono costituiti da una maggiore presenza di depositi piroclastici da caduta provenienti dal vicino distretto vulcanico del Somma-Vesuvio.

I litotipi presenti nell'area di studio, sono costituiti, dunque, al di sotto di un ridotto spessore di terreno agrario, da un'alternanza di materiale piroclastico e di materiale detritico-alluvionale.

La serie piroclastica, legata a fenomeni esplosivi del Somma-Vesuvio e dei Campi Flegrei, è formata da sabbie, sabbie-limose e sabbie scoriacee tipiche dei fenomeni esplosivi. La giacitura della formazione è alquanto disordinata, infatti, la messa in posto, dovuta sia a fenomeni esplosivi, sia a fenomeni di dilavamento e di fluitazione, ha completamente rimescolato la serie e, inoltre, ha rimodellato e per buona parte nascosto l'antica morfologia valliva.

La serie alluvionale, difficilmente distinguibile da quella precedente, è costituita da materiale di erosione, ablazione e trasporto solido della sequenza miocenica prima descritta ed è essenzialmente rappresentata da materiale fine (sabbie e sabbie debolmente limose) e subordinatamente da materiale più grossolano anche ghiaioso e ciottoloso (clasti arenacei).

La superficie di separazione tra le due formazioni è così poco evidente che risulta difficile rinvenire un vero e proprio limite. La suddetta formazione ricopre la formazione miocenica, rappresentata da argille grigio-verdastre e plumbee passanti talora a marne con aspetto leggermente siltoso. Nella massa argillosa sono intercalati livelli litoidi costituiti da calcari marnosi ed arenarie. Le arenarie sono quarzose-micacee di colore giallo-marrone attraversate da un fitto reticolo di fratture che suddividono l'ammasso in una serie di megablocchi.

Attraverso la raccolta di numerose stratigrafie di sondaggi eseguite per la redazione dei vari piani urbanistici del Comune di Forino, alcuni autori (A. Santo, M. Liguori, M. Galasso – 1998) hanno differenziato i vari membri nella coltre superficiale dei terreni quaternari della conca, nei quali sono stati riconosciuti, dal basso stratigrafico, i seguenti terreni:

- *depositi detritici;*
- *depositi dell'Ignimbrite campana (Tufo grigio "Auct.");*
- *un ciclo sedimentario successivo alla deposizione dell'Ignimbrite campana.*

Il detrito di falda è composto da materiale grossolano proveniente dal disfacimento dei vicini rilievi calcarei, sia come prodotto graviclastico che di conoide avente maggiore spessore alla base dei versanti calcarei. Nelle zone più prossimali esso poggia direttamente sul substrato miocenico.

Il Tufo grigio campano, essendo caratterizzato da una tipica facies e da una precisa età (37.000 anni – Decino et al., 1992) risulta un marker importante per effettuare correlazioni stratigrafiche tra i terreni clastici della piana. Esso non è presente in modo continuo, ma in alcuni punti presenta uno spessore sicuramente maggiore a 10 metri (Fig. 9).

Il ciclo sedimentario post tufo grigio, infine, è caratterizzato da piroclastiti di provenienza sia flegrea che vesuviana, rimaneggiate, dilavate dai versanti e risedimentate nella piana. Dal punto di vista granulometrico tali depositi sono caratterizzati da alternanze di materiali sabbiosi e limosi ai quali si intercalano livelli decimetrici francamente argillosi o lenti a granulometria più grossolana di scorie e pomice, sempre rimaneggiate. Nel complesso tali depositi indicano un ambiente lacustre poco profondo, interessato, periodicamente, da apporti detritico-piroclastici.

Questi depositi, su cui insistono gran parte delle infrastrutture della conca di Forino, presentano spessori maggiori variabili in funzione della distanza dai rilievi e dell'articolazione del sottostante substrato. Nella zona prossima ai versanti, dove il substrato è più superficiale, lo spessore è variabile tra i 10-20 metri, mentre nella parte orientale del bacino raggiunge spessori superiori ai 30-35 metri (Fig. 7).

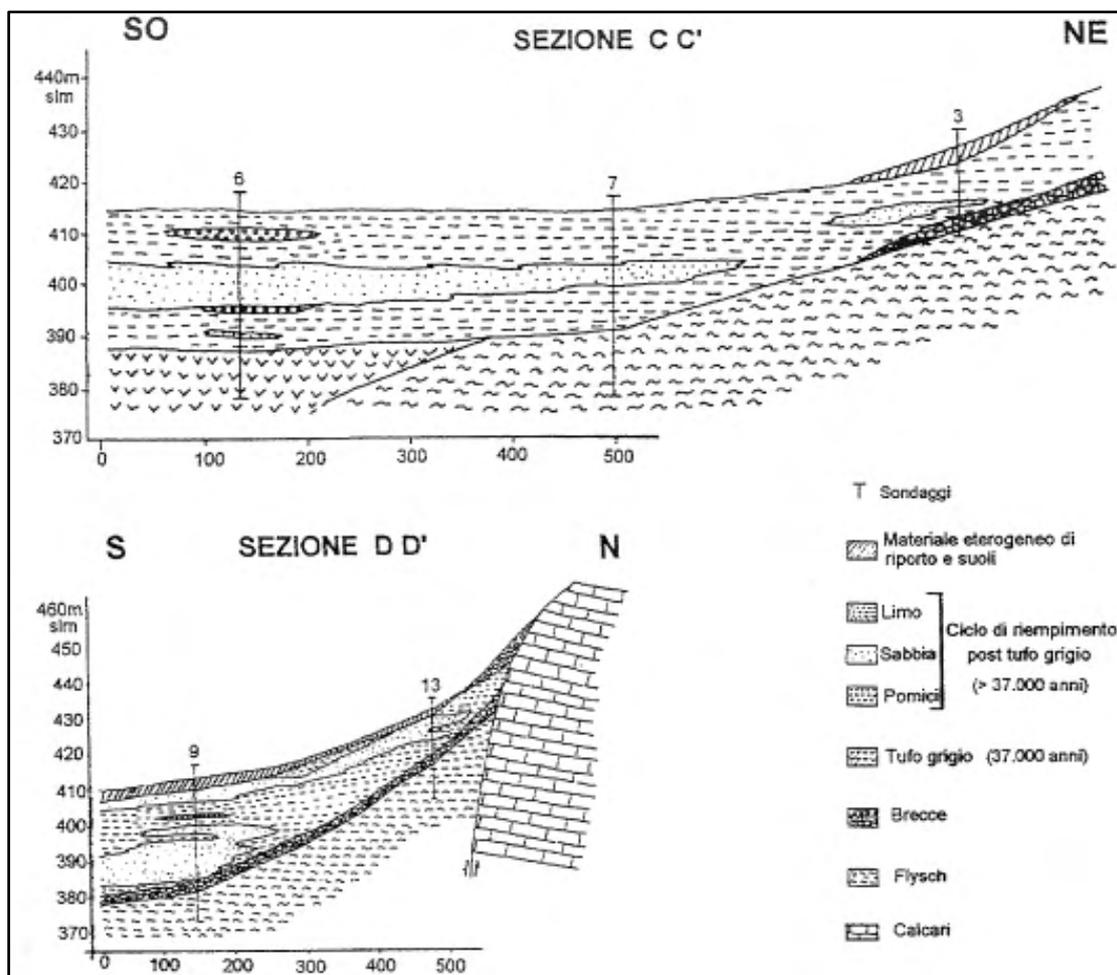


Fig. 9 - Sezioni geologiche dei sedimenti quaternari del bacino di Forino.

#### 4.4 Assetto geomorfologico generale del territorio comunale

Le forme del paesaggio che caratterizzano il territorio comunale rappresentano il risultato delle continue interazioni tra attività tettonica e climatica che hanno condizionato i processi erosivo/deposizionali in questo settore della Catena sud appenninica. La distribuzione delle forme è regolata dall'assetto geologico-strutturale delle successioni meso-cenozoiche che ha controllato la formazione delle morfostrutture positive e negative del territorio.

Il forte contrasto di erodibilità tra le successioni calcareo-dolomitiche, che formano il nucleo roccioso dell'area, e quelle silico-clastiche del paesaggio a morfologia dolce ha influenzato l'evoluzione delle forme, determinando paesaggi più aspri e con pendenze maggiori nei litotipi più conservativi, in netto contrasto con quelli più dolci, blandamente ondulati o subpianeggianti generati laddove prevalgono i terreni più erodibili. L'articolazione delle forme rappresenta dunque il risultato dei vari fattori, agenti e processi che sono intervenuti nel modellamento del rilievo, alternandosi e/o sovrapponendosi in modo vario e complesso nel tempo.

Le morfostrutture positive sono rappresentate interamente dai massicci carbonatici ed appaiono perimetrata da faglie ad alto angolo con direzione appenninica (in questo trend sono compresi gli andamenti tettonici distribuiti intorno alle direzioni N110°-120° e N150°-160°) ed antiappenninica, localmente interrotti da set di faglie orientate E-O e N-S, che hanno prodotto scarpate con rigetti morfologici dell'ordine delle centinaia di metri e che si raccordano, verso il basso, al paesaggio circostante tramite rotture di pendio concave impostate su depositi detritici o detritico-colluviali.

Nel perimetro delle morfostrutture carbonatiche appena descritte sono presenti numerosi versanti a profilo trasversale quasi rettilineo - a meno di processi erosivi più recenti che ne hanno modificato l'originaria configurazione planimetrica - e con pendenze che si attestano intorno ai 30°-35°; simili versanti rappresentano il prodotto dell'evoluzione morfologica di un'originaria scarpata sub-verticale evoluta con un meccanismo di arretramento parallelo (slope replacement di Young, 1972 o cliff recession di Lehmann, 1933) che in alcuni casi ha prodotto considerevoli spessori di materiale detritico al piede dei versanti.

Significativa in termini geomorfologici è la conca tettono-carsica presente a Forino, un bacino chiuso a drenaggio endoreico, caratterizzato da bordi più o meno rettilinei lungo i quali sono presenti grotte e inghiottitoi entro cui confluiscono le acque del ruscellamento superficiale. La stretta morfologica compresa tra i monti Faliesi e Bufoni rappresenta, quindi, una antica zona di sbarramento al deflusso esoreico delle acque di ruscellamento superficiale che è stata successivamente incisa dalla rete idrografica con conseguente svuotamento della conca tettonocarsica rettangolare di Forino, posta immediatamente a monte dell'area di soglia.

Il pattern idrografico mostra un differente grado di evoluzione in relazione alle diverse litologie su cui è impostato: una bassa gerarchizzazione nei litotipi carbonatici e una migliore organizzazione laddove gli impluvi interessano litotipi argilloso-marnose.

Una buona densità di drenaggio, contraddistinta da numerosi corsi d'acqua a carattere susseguente, è presente sui litotipi carbonatici interessati dalla presenza di una estesa coltre

piroclastica; questa determina la creazione di un pattern fluviale poco gerarchizzato che favorisce il drenaggio superficiale delle acque rispetto all'infiltrazione nei carbonati fratturati e carsificati.

Il paesaggio morfologico del territorio comunale è caratterizzato, sostanzialmente, da due tipi di paesaggi: un primo paesaggio morfologico comprende le zone montane caratterizzate dai rilievi carbonatici di M.te Esca, M.te Faliesi, M.te Romola, P.gio Tirone e P.gio Boschitello; l'altro tipo di morfologia riguarda le fasce pedemontane e vallive e tutta la parte centrale del territorio comunale.

La morfologia montana è quanto mai varia con alternanze brusche di dirupi e creste rocciose, di strapiombi e profonde incisioni, spesso impostatesi lungo le linee di debolezza create dalla tettonica distensiva quaternaria che ha, quindi, fortemente condizionato e pilotato l'evoluzione morfologica di questo paesaggio. Non molto dissimile risulta essere il modellamento subito dai rilievi sui termini litoidi degli areali flyschoidi che, sebbene più erodibili di quelli carbonatici, presentano sempre buone doti di resistenza all'attacco chimico-fisico degli agenti esogeni.

L'ultimo fattore modellante è dovuto principalmente dalla recente e ripetuta deposizione dei materiali piroclastici che, in più riprese, hanno ammantato i versanti, addolcendone le forme impervie e colmando le depressioni. L'arrivo e la sedimentazione dei prodotti vulcanici medio-fini, infatti, hanno ulteriormente contribuito all'addolcimento delle forme della zona.

L'evoluzione morfologica della zona è estremamente lenta, infatti, è legata ai fenomeni di ruscellamento concentrato in pochi fossi e che si verifica solo in seguito ad intense precipitazioni, che determinano un aumento momentaneo del trasporto solido all'interno di detti solchi. L'assetto geomorfologico dell'area in esame, infatti, è quello tipico dei bacini endoreici nei quali le acque di ruscellamento superficiale creano frequentemente fenomeni di trasporto solido e alluvionamento favoriti anche dalla notevole estensione di depositi piroclastici sui versanti. In particolare, nel settore meridionale, alla base dei versanti del Monte Romola e del Monte Piesco, aste a regime torrentizio alimentano diversi corpi di conoide.

Le acque di ruscellamento superficiale una volta raggiunta la piana, sono in gran parte incanalate verso l'inghiottitoio di Celzi, frazione posta a sud-ovest del. Tuttavia, in concomitanza di intensi eventi meteorici, l'inghiottitoio non riesce a smaltire la totalità delle acque provocando ripetuti fenomeni di ristagno che coinvolgono anche il centro urbano.

#### **4.5 Aspetti geomorfologici e idrogeologici della conca di Forino**

L'assetto morfologico generale della conca è stato determinato da un sistema di faglie che hanno dislocato il substrato litoide (calcari) su cui poggiano successioni terrigene mioceniche. Alle unità descritte si sovrappongono depositi fluvio-lacustri ricoperti e/o intercalati da depositi piroclastici, in giacitura primaria, sia litoidi (Ignimbrite Campana) che incoerenti.

Gli stessi depositi piroclastici, oltre che i prodotti dell'alterazione ed erosione dei versanti carbonatici, concorrono a definire il sistema di depositi, in giacitura secondaria, che mantellano le zone pedemontane e la zona di pianura quale effetto dei meccanismi evolutivi propri legati alla gravità ed in genere al trasporto in sospensione o in forma di flusso superficiale.

Lo schema idrogeologico della conca è funzione dell'assetto litostratigrafico descritto, oltre che dalla specifica condizione di "conca endoreica". Si distingue una falda profonda nei calcari condizionata dal sistema di discontinuità del substrato e soprattutto dallo sviluppo del sistema carsico di cui l'inghiottitoio della conca risulta la manifestazione superficiale più evidente. Alla falda profonda si sovrappone la circolazione idrica negli orizzonti più permeabili del riempimento della conca (livelli grossolani più permeabili sia alluvionale che detritici in prossimità dei versanti). Si definisce un sistema di falde articolato, condizionato dai rapporti geometrici tra gli orizzonti litostratigrafici a diversa permeabilità.

Non sono da escludere meccanismi di affioramento della falda superficiale nei depositi alluvionali, per quanto tale eventualità può essere determinata anche dai meccanismi propri delle conche endoreiche, ovvero eccesso di infiltrazione (la capacità di dispersione del suolo è insufficiente per assorbire la circolazione superficiale, anche per la relativa bassa pendenza della superficie topografica oltre che dall'antropizzazione) o per insufficiente deflusso nell'inghiottitoio di fondo della conca.

Alla natura di conca endoreica va associato anche il particolare schema morfoevolutivo legato alla dinamica fluviale, ovvero un sistema chiuso in cui il deflusso trova recapito in una forma di accumulo, ovvero in una forma in cui si rilevano meccanismi di dispersione nel sottosuolo piuttosto che lo scorrimento in forma incanalata lungo un alveo. A tale condizione va associata una relativa semplificazione del sistema di drenaggio delle acque superficiali che di fatto è assente, ovvero si configura come un deflusso diffuso proprio dei meccanismi di sovralluvionamento in cui le acque incanalate provenienti dagli impluvi montani si distribuiscono lungo la fascia pedemontana per trovare recapito nel fondo della conca. Tale semplificazione non permette una semplice distinzione tra le aree (forme del modello morfoevolutivo) in cui sono prevalenti i meccanismi legati al deflusso di portate liquide con elevato trasporto solido (fascia pedemontana), dalle aree (forme del modello morfoevolutivo) con chiare evidenze di processi alluvionali di fondovalle (piane alluvionali) legati all'esonazione del reticolo idrografico principale.

In ogni caso nel fondo della conca si ritrovano morfologie ed associazioni litologiche proprie delle piane alluvionali pertanto le forme del modello morfoevolutivo legate ai due diversi meccanismi (transito ed invasione di portate liquide con e senza elevato trasporto solido) possono essere distinte evidenziando le aree in cui è il deflusso delle portate liquide ha caratteristiche tali da consentire un significativo trasporto solido, da quelle in cui il deflusso è prevalentemente di portate liquide con modesto trasporto solido.

I meccanismi morfoevolutivi legati ai processi fluviali possono essere descritti attraverso uno schema articolato in aree di formazione del deflusso, forme di transito e forme di invasione, con la particolarità che in una conca endoreica manca un sistema fluviale di piana sviluppato (alveo fluviale). In altri termini all'interno di una conca endoreica possono essere presenti, con continuità, sia i meccanismi tipici dell'ambito pedemontano o di conoide sia quelli dell'ambito alluvionale o di pianura. Nella zona valliva di pianura le acque di ruscellamento superficiale che raggiungono la piana defluiscono, sono in gran parte incanalate verso l'inghiottitoio di Celzi, tuttavia, in

concomitanza di intensi eventi meteorici, l'inghiottitoio non riesce a smaltire la totalità delle acque provocando ripetuti fenomeni di ristagno che coinvolgono anche il centro urbano.

L'assetto morfologico descritto in precedenza trova una conferma nella configurazione attuale della rete di drenaggio che risulta nei fatti un sistema di canali artificiali. Anche l'analisi dello stato di fatto degli interventi effettuati negli anni scorsi conferma che i nuovi tratti risultano in buone condizioni di officiosità nella parte di valle, mentre verso monte si incontrano tratti nei quali sono evidenti i processi di sovralluvionamento dell'alveo che determinano la riduzione della sezione utile dell'alveo.

## **5. Idrografia ed idrogeologia dell'area**

### **5.1 L'idrologia superficiale**

Nel bacino endoreico di Forino manca un vero e proprio reticolo idrografico continuo. Nella maggior parte dei casi gli impluvi dell'assise carbonatica, caratterizzati da pendenze piuttosto forti e con incisioni nette e profonde alle quote più alte, perdono la loro caratteristica di solchi vallivi nelle fasce pedemontane. In ogni caso la circolazione idrica lungo tali impluvi è legata ai periodi di prolungata ed intensa piovosità.

I terreni di copertura della piana, con buone caratteristiche di permeabilità, consentono una rapida e totale infiltrazione; solo nei periodi di intensa piovosità le acque ruscellano lungo la rete stradale. Infatti, la conca di Forino costituisce un polje strutturale nel quale le acque di ruscellamento superficiale hanno difficoltà di smaltimento avendo come unico punto di recapito l'inghiottitoio localizzato nel settore orientale della depressione in prossimità della località Celzi.

Gli alvei provenienti dalla area montana risultano in continuità diretta (alvei strada) con la rete stradale dell'area alluvionale di pianura. Gli assi viari longitudinali che attraversano la piana risultano sopraelevati rispetto ai terreni circostanti.

La posizione sopraelevata degli assi viari longitudinali ha condizionato anche la viabilità trasversale che si è dovuta adeguare a quella longitudinale determinando la formazione di "tasche" di terreno che risultano topograficamente sottoposte agli assi viari esistenti. Le caratteristiche topografiche di tali aree le rendono aree di accumulo prive di recapito e per le quali l'unica possibilità di smaltimento è legata alla dispersione attraverso il terreno.

I corsi d'acqua superficiali, di fatto inattivi per gran parte dell'anno, possono avere elevate portate in concomitanza di intense precipitazioni e, in alcuni casi, alluvionare la piana.

I ripetuti alluvionamenti sono da imputare, probabilmente, alla ridotta capacità degli inghiottitoi di smaltire le acque, a sua volta causata dall'espansione urbanistica, che ha accelerato il ruscellamento superficiale e facilitato l'ostruzione del canale carsico.

L'analisi stratigrafica di alcuni sondaggi e scavi ha mostrato che gli alluvionamenti si sono avvicendati più volte negli ultimi 30.000 anni, come si deduce dalla presenza di piroclastiti rimaneggiate intervallate da livelli lacustri nel complesso poggianti sul tufo grigio campano.

## 5.2 I complessi idrogeologici e le sorgenti dell'area della piana

L'eterogeneità litologica e strutturale dell'area si riflette sulla circolazione idrica sotterranea, in quanto i litotipi carbonatici sono interessati da una circolazione idrica profonda, mentre le zone vallive e sub-pianeggianti presentano una circolazione superficiale; quest'ultima è modesta ed avviene maggiormente lungo gli impluvi, mentre si ha una certa infiltrazione lungo le fratture e i giunti di stratificazione nella coltre alterata superficiale. La serie idrogeologica si divide in due categorie principali: rocce serbatoio costituite dai calcari e rocce di ritenuta costituite da buona parte dei terreni bordanti i rilievi carbonatici. Va anche considerato che il più importante sistema di ritenuta, costituito dal flysch, s'addossa all'assise calcarea nel margine settentrionale.

I termini litologici affioranti nell'area di studio sono stati accorpati in vari complessi idrogeologici, dove per complesso idrogeologico si intende un insieme di termini litologici simili aventi una comprovata unità spaziale e giaciturale, un tipo di permeabilità prevalente comune ed un grado di permeabilità che si mantiene in un campo di variazione piuttosto ristretto. In tal modo, sulla scorta delle conoscenze geo-litologiche ed idrogeologiche acquisite, si è giunti alla definizione di diversi complessi idrogeologici differenziabili per tipo e grado di circolazione idrica sotterranea.

Per quanto riguarda gli intervalli dei valori di permeabilità assoluta essi sono stati scaturiti da osservazioni basate in sito dallo scrivente, pubblicazioni, lavori scientifici, e quant'altro si fosse reso utile. Sono state effettuate le seguenti distinzioni (Fig. 10):

- Complesso calcareo: la potente serie a cui appartengono i calcari mesozoici che formano i rilievi che cingono la piana, pur avendo caratteristiche petrografiche disuniformi, mostra a tutti i livelli un carsismo su scala più o meno vasta, favorito dalla fitta rete di fratture create dalla complessa tettonica; tale complesso idrogeologico è caratterizzato da un alto grado di permeabilità per fratturazione e carsismo.
- Complesso argilloso-marnoso-arenaceo miocenico: a questo complesso idrogeologico appartiene la serie flyschoida con grado di permeabilità oltremodo vario: nullo negli areali sostanzialmente argillosi, discreto negli affioramenti arenacei per fratturazione. Non si escludono locali accumuli con varia potenzialità in corrispondenza degli inclusi lapidei imballati nelle argille. Detto complesso, quindi, è caratterizzato da un basso grado di permeabilità relativa e rappresenta il principale orizzonte impermeabile affiorante nell'area in studio.
- Complesso piroclastico-alluvionale: avente permeabilità da bassa a medio-alta per porosità perché costituito prevalentemente dal gruppo dei terreni piroclastici rimaneggiati, dai depositi lacustri e dai depositi alluvionali del bacino (materiali fini quali argille, limi e limi sabbiosi) e dal gruppo delle falde detritiche costituito da ghiaie quasi mai cementate e da sabbie alluvionali. La permeabilità generalmente alta nelle ghiaie, diminuisce sensibilmente nelle sabbie limose della matrice, pur restando elevata. I depositi alluvionali di fondovalle e in genere sono caratterizzati da un elevato grado di permeabilità. Solo in corrispondenza delle fasce piroclastiche argillificate si abbassa il valore complessivo della permeabilità; ma si tratta di fenomeni quasi sempre localizzati in quanto il deposito risulta imbastardito da inclusi detritici.

Dal punto di vista idrogeologico, quindi, i terreni affioranti nell'area di studio possono essere ricondotte ad acquiferi caratterizzati da gradi e tipi diversi di permeabilità. Quest'ultima è, infatti, fortemente dipendente dalle litologie e, in particolare, dall'abbondanza di fini nei fusi granulometrici costituenti le fasi sciolte piroclastiche. Ci si trova, in effetti, in presenza di coltri superficiali notevolmente areate, a permeabilità per porosità variabile, ma che consentono, comunque, rapidi fenomeni di infiltrazione superficiale alle aliquote d'acqua di precipitazione.

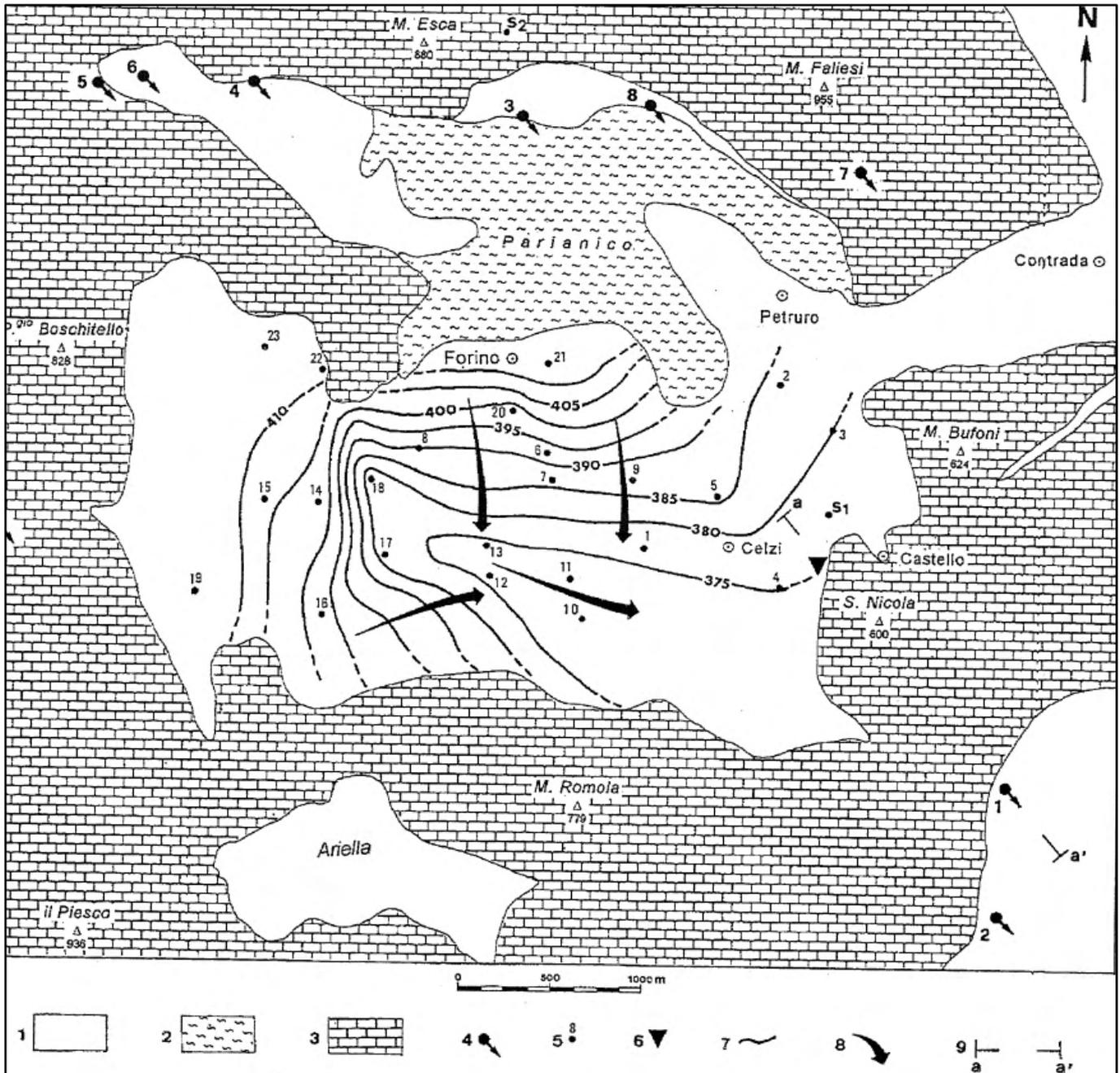


Fig. 10 – Schema idrogeologico dell'area del bacino di Forino: 1) complesso piroclastico-alluvionale; 2) complesso argilloso-marnoso-arenaceo; 3) complesso calcareo; 4) sorgente; 5) pozzo; 6) inghiottitoio; 7) curva isopiezometrica; 8) direzione preferenziale di drenaggio; 9) traccia di sezione.

La formazione miocenica, in virtù della sua componente argillosa spesso prevalente, funge da tampone basale alla circolazione idrica superficiale della coltre piroclastica. La profondità e le caratteristiche di eventuali falde, oltre che dipendere dallo spessore della coltre piroclastica di copertura, sono funzione della geometria dei piani di stratificazione, quindi, dell'andamento morfologico del substrato sepolto. La presenza di intercalazioni litoidi in lembi e zolle di modesto spessore e limitate estensioni non consente la costituzione di un corpo continuo ed uniforme, per cui eventuali acque di infiltrazione possono trovare recapito soltanto limitatamente alle intercalazioni lapidee più estese e continue.

Lungo il margine settentrionale e occidentale della piana si rilevano alcune sorgenti di modesta portata, localizzate sui versanti calcarei tamponati dalle coperture mioceniche. Infatti, la quasi totalità delle sorgenti nei margini occidentale e settentrionale, è legata alle acque di circolazione nei calcari; nel bordo settentrionale i flussi seguono la capricciosa giustapposizione dei calcari marnosi e delle argille con un cammino sotterraneo sostanzialmente segnato dall'andamento della parte lapidea del complesso. Le sorgenti di tale gruppo traggono l'alimentazione dalle stesse strutture idrogeologiche e presentano una genesi abbastanza simile (sorgenti Marchesa, Marane, Parise, Mugliano).

Si tratta di piccole scaturigini perenni immesse nella rete idrica a servizio del centro urbano e di alcune contrade rurali di Forino con valori di portata media compresi tra 0,10 l/s e 2,0 l/s.

Altre due importanti sorgenti (Laura e Lasbo) sono localizzate a valle del bacino di Forino, e sfiorano al contatto tra i calcari e i terreni piroclastico-alluvionali della piana di Montoro. Esse sono in comunicazione con la piana di Forino tramite un sistema carsico alimentato dall'inghiottitoio presente nel settore orientale della conca (Celico, 1983).

De Riso & Ducci (1992) e Celico (1996), trattando delle sorgenti di Laura e Lasbo, rilevano la successione di queste con l'inghiottitoio della conca endoreica di Forino, dal quale ricevono un'alimentazione consistente nel periodo invernale.

La curva di efflusso della sorgente Lasbo mostra un esaurimento ed un andamento della ricarica abbastanza lenti; le portate massime si registrano nei periodi primaverili, con un certo ritardo rispetto ai primi mesi di intense precipitazioni (novembre e dicembre).

Le portate sono variabili da un massimo di 200 l/s ad un minimo di 50 l/s. Nell'insieme questo gruppo sorgivo presenta caratteristiche dell'emergenza di una falda in rete, alimentata solo in minima parte da un sistema carsico. A tale proposito si ricorda che la sorgente di Lasbo presenta una cospicua portata (50-100 l/s) anche quando l'inghiottitoio è inattivo.

### 5.3 Ricostruzioni piezometriche della piana alluvionale

Per quanto riguarda la parte valliva, dall'analisi delle stratigrafie disponibili e da fonti bibliografiche di studi condotti precedentemente nel territorio comunale, si individuano a Forino falde superficiali (da m 4.50 a m 10.60) in pieno centro abitato con progressivo approfondimento del livello freatico verso il margine meridionale. Talora si individuano falde ridotte sospese e sovrapposte.

Nella frazione Celzi la falda superficiale ha un livello statico tram 6.00 e m 8.00 dal p.c., invece nella frazione Petruro in genere si individua una falda alla profondità di m 29.00 dal p.c., anche se non mancano falde sospese localizzate legate ad acquiferi sabbiosi.

Nella piana di Forino la superficie freatica oscilla in maniera abbastanza omogenea in quanto l'acquifero è costituito dai terreni sciolti di copertura su un imbasamento impermeabile. Tuttavia non si tratta mai di rapidi e cospicui innalzamenti sia per lo spessore freatico notevole sia per i deflussi sotterranei con scorrimenti verso sud e sud-est. Si tratta di movimenti lenti localizzati nel lo spessore degli intervalli sabbiosi intercalati a depositi piroclastici spesso argillificati.

Il notevole ribassamento del substrato calcareo nella piana e la scarsa presenza di pozzi profondi non consentono di ricostruire l'andamento piezometrico della piezometrica della falda di base. Tuttavia, una trivellazione per ricerca di acque, realizzata a pochi metri dall'inghiottitoio di Celzi, ha raggiunto i carbonati sottoposti ai depositi limoso-sabbiosi ed ha permesso di accertare in questo punto che il livello piezometrico dell'acquifero basale è attestato a circa 250 m s.l.m., ad una quota di circa 50 m più alta rispetto all'emergenza delle sorgenti Laura e Lasbo (Fig. 11).

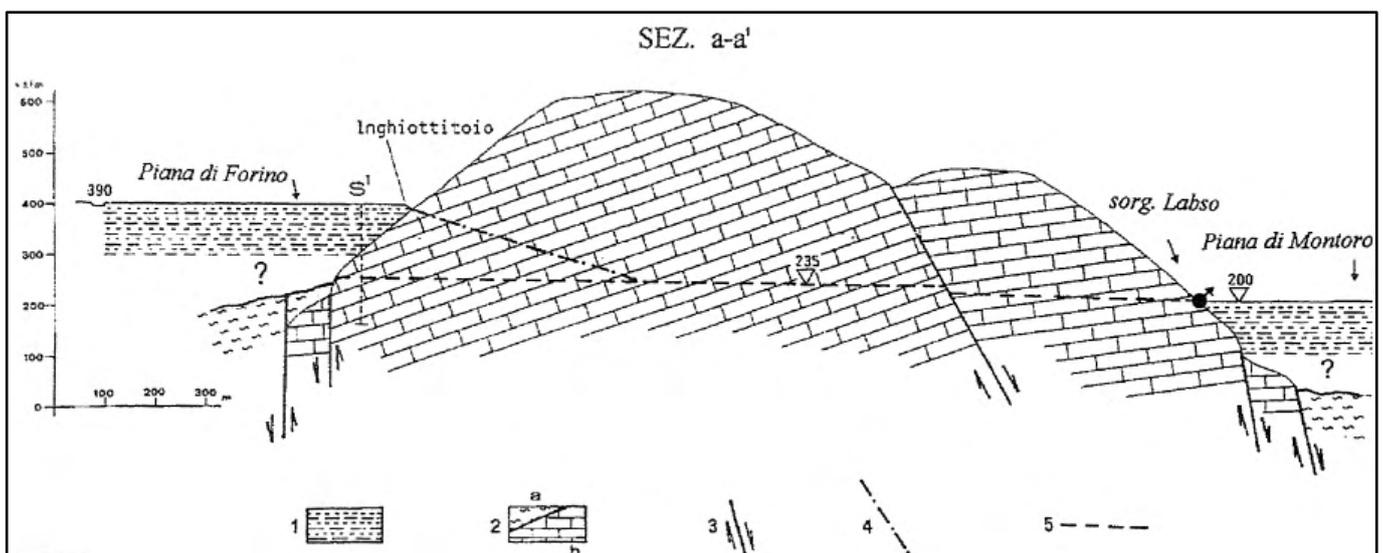


Fig. 11 – Sezione idrogeologica mostrante i rapporti tra la piana di Forino e la sorgente Lasbo: 1) complesso piroclastico-alluvionale; 2) complesso argilloso-marnoso-arenaceo (a), complesso calcareo (b); 3) faglia; 4) percorso ipotetico del condotto carsico; 5) superficie piezometrica.

Un altro pozzo spinto alla profondità di circa 260 m s.l.m. eseguito nei calcari (S2 di Fig. 10) è risultato sterile. Questi pochi dati sulla falda profonda evidenziano, comunque, una notevole articolazione del livello piezometrico, come testimoniato dai diversi gradienti tra i pozzi S1-S2 e la sorgente Lasbo, a causa della complessa situazione strutturale.

Per quanto riguarda l'assetto idrogeologico, la piana di Forino rientra nella più ampia idrostruttura dell'Unità dei Monti di Avella e Partenio, a nord, e di quella del Pizzone-Alvano, a sud (CIVITA *et al.*, 1970; CELICO, 1979) la cui falda di base drena preferenzialmente verso SW in direzione degli importanti gruppi sorgivi di Sarno e Nocera.

Attraverso il censimento di numerosi pozzi distribuiti in tutta la piana per uso irriguo e con profondità variabile dai 20 ai 50 m, alcuni autori (SANTO *et al.*, 1998), hanno ricostruito la piezometria della falda superficiale attestata nei depositi quaternari del complesso piroclastico alluvionale (Fig. 8). L'andamento delle curve isopiezometriche evidenzia una notevole pendenza ed una direzione di drenaggio della falda superficiale, localizzata nel riempimento alluvionale, verso il settore orientale della piana, con deflusso preferenziale orientato da WNW verso ENE. E' molto probabile che in quest'area si verifichi un trasferimento delle acque della falda superficiale verso la falda profonda attraverso una zona più carsificata e sepolta dei calcari.

La falda si localizza mediamente a circa 370 m s.l.m e cioè circa 30 sotto il piano campagna. Il disegno piezometrico evidenzia un'alimentazione dai vicini massicci carbonatici ed in particolare da quelli localizzati a NW e, subordinatamente, da quelli presenti a SW della piana.

Più in profondità, ad una quota di circa 250 m s.l.m., è presente la falda di base dei calcari il cui recapito è rappresentato dal gruppo sorgivo Laura e Labso (CELICO, 1979).

La conca di Forino, quindi, è caratterizzata dalla presenza di due falde la più alta delle quali si localizza nel corpo alluvionale sabbioso limoso ed è alimentata per travaso dai calcari; la più profonda si imposta nei calcari mesozoici e sarebbe separata dalla prima per l'interposizione di materiali lacustri e dei flysch miocenici.

#### 5.4 Schema di circolazione idrica dei corpi idrici carbonatici sotterranei

I differenti contesti geolitologici che caratterizzano il territorio della Regione Campania rappresentano "ambiti idrogeologici" in cui risiedono i principali "corpi idrici sotterranei". Dal punto di vista idrogeologico, tali corpi idrici, assumono un ruolo diversificato, sia per le differenti peculiarità idrogeologiche, sia per i differenti meccanismi di ricarica e di flusso idrico sotterraneo, sia per la diversa potenzialità delle risorse idriche in essi immagazzinate.

Il territorio comunale di Forino rientra nel contesto dei corpi idrici sotterranei carbonatici dei Monti d'Avella - Vergine - Pizzo d'Alvano.

Di seguito vengono descritte le principali peculiarità geologiche e idrogeologiche dei corpi idrici sotterranei carbonatici, individuati i limiti idrogeologici e definite le relative condizioni al contorno. Vengono ricostruite le modalità di flusso e i relativi schemi di circolazione idrica sotterranea, individuate le aree di alimentazione, di deflusso e di emergenza delle acque sotterranee definendo,

al tempo stesso, le principali direttrici di flusso, i principali “spartiacque sotterranei” nonché i relativi bacini sotterranei di alimentazione delle principali sorgenti e falde.

Il corpo idrico sotterraneo dei Monti di Avella – Vergine – Pizzo d’Alvano risulta costituito, in affioramento, prevalentemente da calcari e calcari dolomitici (Cretaceo Sup.- Lias) e subordinatamente da dolomie triassiche, appartenenti all’unità stratigrafico-strutturale Monti Picentini – Taburno. Le rocce carbonatiche sono suddivise da un complicato reticolo di faglie, le cui orientazioni preferenziali sono quelle NE-SO, SO-NE, N-S ed E-O.

L’acquifero carbonatico (Fig. 12) risulta delimitato a NE dal contatto tettonico con i depositi poco permeabili arenaceo-argillosi, appartenenti alle unità litostratigrafiche neogeniche pre e tardo-orogene; a NO, i terreni carbonatici sono limitati dai depositi detritico-piroclastico-alluvionali della Piana dell’Isclero e della Valle di Maddaloni, da poco a mediamente permeabili; a Sud, il limite è marcato da depositi piroclastici della Piana Campana, al di sotto dei quali è ribassato il substrato carbonatico; a SE, infine, i rilievi sono definiti dalla Valle del Torrente Solofrana, dove affiorano depositi detritico-piroclastico-alluvionali, da poco a mediamente permeabili.

Le principali sorgenti dell’idrostruttura erano poste, perché attualmente quasi tutte captate, lungo il margine sud-occidentale con la Piana Campana, dove sono presenti le quote più basse dell’acquifero fratturato e carsificato. Gli affioramenti delle acque sotterranee erano concentrati in due siti, entrambi a quote prossime ai 30 m s.l.m.: il gruppo sorgivo di Cannello (Mofito e Calabricito), per il quale negli anni ’70 si aveva una portata di circa 1,3 m<sup>3</sup>/s, ed il gruppo di Sarno (S. Maria La Foce, Mercato-Palazzo, Cerola, S. Marina di Lavorate e S. Mauro), per il quale negli anni ’70 si aveva una portata di circa 9,4 m<sup>3</sup>/s.

Scaturigini di ridotta portata (qualche centinaio di l/s), peraltro a regime molto variabile, sono presenti nella Valle del T. Solofrana (sorgenti Lauro e Labso).

Ulteriori recapiti della struttura idrogeologica sono rappresentati da travasi idrici sotterranei verso l’acquifero della Piana Campana, laddove sono presenti coltri detritico-piroclastiche, relativamente più permeabili, al passaggio tra i due acquiferi. All’interno del massiccio carbonatico la circolazione idrica sotterranea è condizionata principalmente dall’assetto strutturale. Sebbene sia stata riconosciuta un’unica falda di base nell’acquifero carbonatico, per spiegare l’ubicazione dei due principali gruppi sorgivi è stato ipotizzato un deflusso idrico sotterraneo compartimentato in più substrutture. Si ritiene, in particolare, che l’insieme si comporti come serbatoi in serie, con l’alto idrogeologico corrispondente con il Monte Avella e due principali direzioni di flusso, una orientata verso il gruppo sorgivo di Cannello ed un’altra verso il gruppo sorgivo di Sarno.

Pertanto, anche le discontinuità tettoniche più importanti che suddividono il massiccio (ovvero quelle che inducono una riduzione della permeabilità delle rocce, come per esempio la faglia inversa Monteforte Irpino - Baiano) non esercitano un’efficace azione di tamponamento sulle acque sotterranee delle diverse sub-strutture riconoscibili.

Dette discontinuità, al più, danno luogo all’approfondimento dei circuiti idrici sotterranei, responsabili del maggior grado di mineralizzazione delle acque del gruppo sorgivo di Cannello.

Per le sorgenti più meridionali del gruppo di Sarno (S. Marina di Lavorate e S. Mauro), è stata ipotizzata l'alimentazione anche da parte dell'acquifero detritico-piroclastico-alluvionale della valle del Torrente Solofrana, attraverso il confronto dei dati piezometrici e chimici dei due acquiferi. Le sorgenti Lauro e Labso, invece, sono in diretta comunicazione con la conca carsica di Forino.

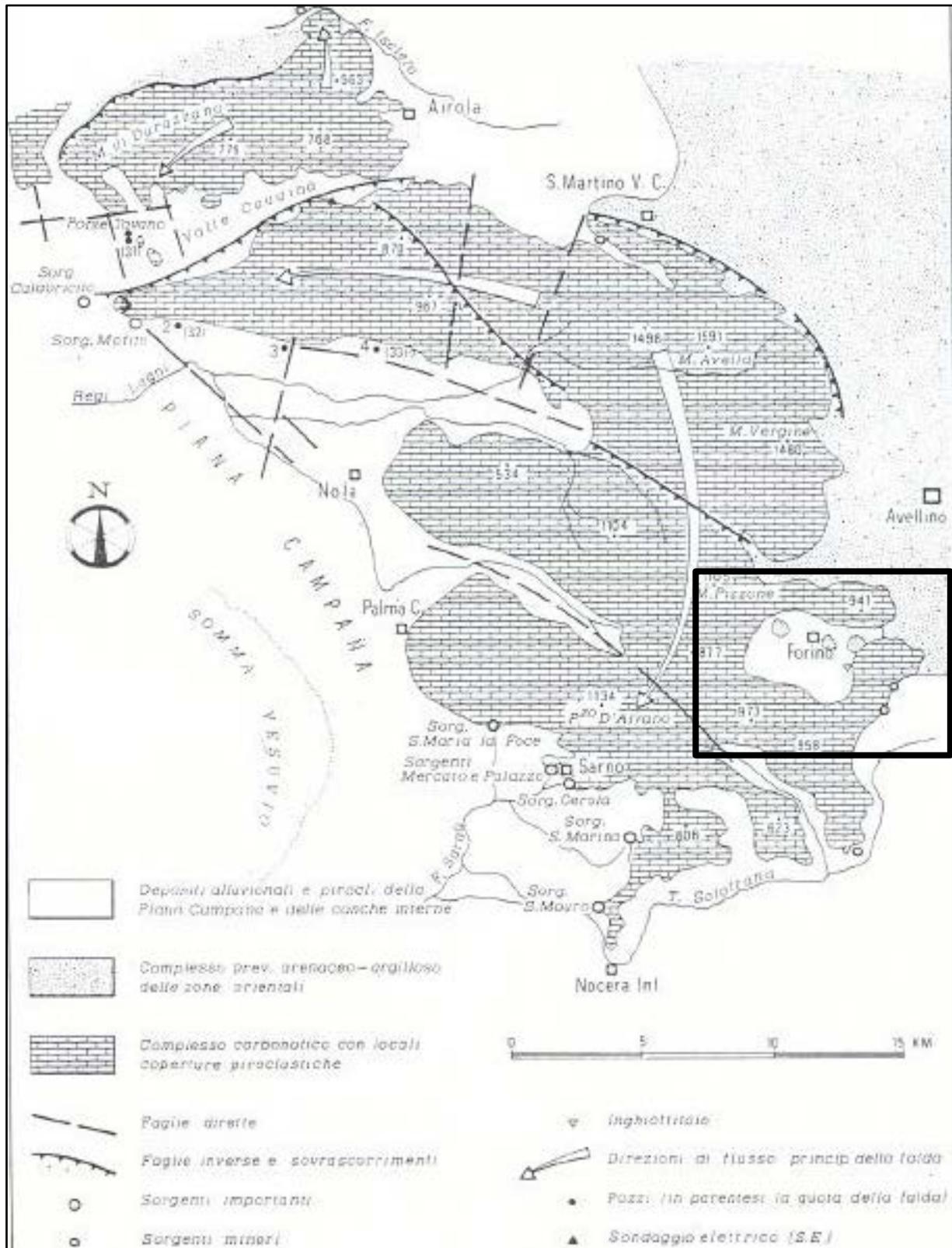


Fig. 12 – Schema di circolazione idrica sotterranea dell'idrostruttura carbonatica dei Monti di Avella – Partenio – Pizzo d'Alvano. Nel riquadro è indicata l'area di interesse

## 6. Stabilità generale del territorio in esame

Il territorio comunale di Forino presenta una morfologia piuttosto articolata che rispecchia sostanzialmente la variabilità dei litotipi affioranti ed in parte la complessità delle vicende tettoniche e morfogenetiche che hanno interessato ed interessano tuttora questo settore del complesso dei monti del Partenio a partire dal Miocene.

Sotto il profilo morfologico, il territorio è caratterizzato da una notevole escursione altimetrica e da una modesta energia del rilievo. Infatti, nella parte centrale si hanno superfici pianeggianti, in quella medio-bassa superfici blandamente ondulate e nella parte alta si hanno invece pendii da moderatamente acclivi ad acclivi. Nelle aree oggetto di studio il modello evolutivo geomorfologico è riconducibile ai processi di denudamento ed erosione sia lineare che diffusa. Tali modelli si manifestano con tipologie differenti, a seconda dei litotipi interessati; in linea generale nei terreni di origine alluvionale le fenomenologie franose rappresentano gli agenti morfoevolutivi predominanti. Non è raro trovare fenomeni di dissesto, trattandosi di litotipi rientranti nelle classiche formazioni strutturalmente complesse.

La tipologia dell'evento varia in relazione alla situazione morfologica, litologica, stratigrafica, meteo-climatica. In particolare tra i fattori passivi del pendio, detti anche fattori predisponenti, sostanzialmente stabili nel tempo, si comprendono la litologia, l'acclività, la stratigrafia, la giacitura e l'idrogeologia. Tra i fattori attivi del pendio, detti anche determinanti, si annoverano quelli climatici, antropici e vegetazionali.

In genere le manifestazioni di instabilità si verificano in seguito a eventi occasionali come il deterioramento delle caratteristiche tecniche dei terreni, la variazione del contenuto d'acqua, l'aumento del carico sul versante, l'incremento della pendenza del pendio o in seguito a sollecitazioni sismiche o azioni antropiche. I sedimenti prevalentemente in affioramento lungo i corsi d'acqua hanno origine alluvionale e sono geneticamente legati al drenaggio recente e/o attuale. Si tratta sostanzialmente di detriti di falda da poco a mediamente cementati ad opera di acque circolanti, in cui possono essere intercalate livelli ghiaiosi eterometrici.

Le varie litologie hanno reagito e tuttora reagiscono in modo differente alle sollecitazioni tettoniche, all'azione erosiva degli agenti esogeni, determinando così un modellamento diversificato del paesaggio morfologico. L'assetto morfologico attuale della zona è strettamente connesso alle caratteristiche geologico-strutturali delle formazioni presenti e all'evoluzione tettonico-sedimentaria cui tali formazioni sono state sottoposte nel corso del Quaternario.

Dal punto di vista morfologico l'area in esame può essere divisa in tre settori principali: il primo caratterizzato dall'affioramento dei depositi detritico-alluvionali e palustri della conca endoreica, il secondo dai terreni costituenti l'unità calcarea ed il terzo caratterizzato dalla presenza delle formazioni calcareo, marnose, arenacee e argillose, categorizzate come flysch miocenico.

Nelle aree in cui affiorano i terreni argillosi, i versanti, che degradano dagli spartiacque verso il fondovalle si presentano in uno stadio morfologico giovanile con la scarpata sommitale modellata nel substrato, la porzione intermedia (rettilenea o concava) ricoperta da depositi di versante, una

rottura basale in prossimità dell'alveo, una copertura superficiale costituita da terreni detritici sciolti.

Nella parte bassa degli stessi bacini, invece, i terreni detritico-piroclastici sciolti e palustri sono interessati da processi erosivi intensi sia diffusi che lineari. I primi sono dovuti al dilavamento della coltre superficiale e dei suoli agrari ad opera del ruscellamento delle acque non regimate, i secondi, richiamando notevoli quantità di materiale detritico dalle sponde dei fossi. Le unità morfologiche sono costituite, quindi, da quella collinare e da quella di piana di fondovalle.

In generale i terreni flyschoidi possono presentare fenomeni di dissesto idrogeologico, dovuti principalmente alla natura geologica dei terreni affioranti, alle condizioni climatiche e all'uso del suolo. Gli eventi di sollevamento neotettonici del plio-quadernario hanno creato nell'Appennino meridionale, e dunque in Campania, le premesse per l'instaurazione di forti squilibri gravitazionali con conseguente innesco di movimenti di versante di varia entità.

Allo stesso modo le variazioni climatiche quaternarie hanno determinato condizioni favorevoli ai processi di degradazione fisico-meccanica delle rocce esposte e, dunque, agevolato lo sviluppo di processi di erosione-trasporto-accumulo. In definitiva, le pendenze medie elevate, la sfavorevole combinazione di fattori stratigrafico-strutturali ed idrologico-idrogeologici sono alla base della fragilità intrinseca del territorio.

La frequenza, l'entità e la tipologia dei fenomeni franosi rilevati nel territorio comunale sono condizionati fortemente dalla natura e dall'assetto strutturale dei terreni affioranti. Ai diversi ambiti morfostrutturali individuati corrisponde infatti una franosità caratteristica.

L'area di affioramento del substrato carbonatico è caratterizzata da frane del tipo colata detritica e, laddove è presente una diffusa copertura piroclastica, colata rapida di fango. Tali colate si innescano prevalentemente, ma non solo, dalle concavità morfologiche che presentano significativi accumuli di depositi di copertura; in particolare, le colate detritiche possono costituire inoltre il meccanismo evolutivo di alcune frane di crollo.

L'area di affioramento delle successioni terrigene posta a nord degli abitati di Forino e Preturo è caratterizzata principalmente, invece, da frane di tipo scorrimento rotazionale e colata lenta; spesso i fenomeni riconosciuti sono misti: derivanti cioè dalla combinazione dei due tipi di movimento. In tali zone si sono verificate anche delle frane tipo colata rapida di fango che si sono originate nelle coperture piroclastiche poggianti sui rilievi collinari terrigeni.

Di seguito si descrivono le principali tipologie di frane che si rinvencono nel territorio comunale di Forino (Fig. 13).

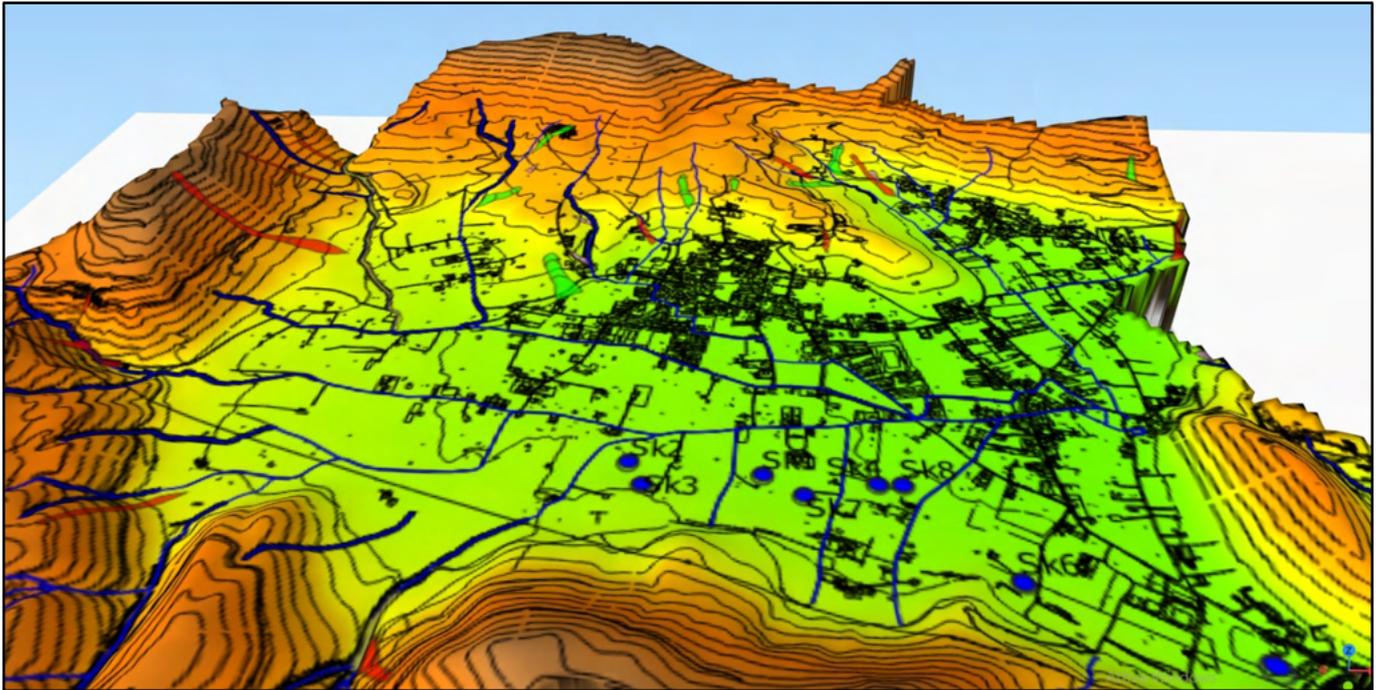


Fig. 13 – Ubicazione dei principali fenomeni franosi presenti nel territorio comunale di Forino

### 6.1 Colate rapide di detrito

Queste frane sono state riscontrate in corrispondenza di alcuni versanti carbonatici a morfologia accidentata, caratterizzati dalla presenza, nelle zone apicali, nelle testate di impluvio o lungo tratti di canale a forte acclività, di detriti di versante a granulometria grossolana.

Tali materiali, dopo essere stati mobilizzati a seguito di un improvviso distacco, tendono ad invadere, sotto forma di “flussi” misti di acqua e detriti, le zone di piedimonte, dove possono raggiungere le aree di conoide o la falda detritica.

### 6.2 Colate lente

Questi dissesti si verificano laddove sono presenti spessori significativi di depositi di copertura a comportamento plastico e/o terreni del substrato a prevalente litologia argilloso-marnosa. Tali frane presentano una morfologia caratterizzata da tipiche ondulazioni della superficie topografica con raggio di curvatura da metrica a decametrica.

Esse sono presenti soprattutto in forma complessa scorrimento – colata; a luoghi la fase di colamento può essere preceduta da una fase di deformazione lenta, tipo creep, della copertura colluviale a riempimento delle concavità morfologiche.

### 6.3 Scorrimenti rotazionali

Questi tipi di fenomeni franosi si verificano laddove le litologie del substrato sono rappresentate da terreni a comportamento geotecnico complesso. Essi si verificano per superamento della resistenza di taglio del terreno lungo superfici di neoformazione talora associate a superfici

preesistenti (contatto tra materiali di copertura e substrato, contatto tra la porzione alterata e quella integra di un ammasso roccioso, ecc.).

Tali frane presentano un aspetto morfologico tipico, più o meno riconoscibile in funzione dell'età e dello stato di attività, caratterizzato da una zona di distacco con scarpata principale ad andamento arcuato; un terrazzo di testa di frana talora ruotato in contropendenza rispetto all'andamento del versante; blocchi secondari delimitati da fessure longitudinali. Il materiale mobilizzato può continuare il suo movimento, a seconda della natura litologica e del contenuto d'acqua, attraverso meccanismi di colata sia lenta che rapida, dando luogo a frane ad evoluzione complessa. Nella figura successiva (Fig. 14) è riportato un esempio relativo ad una frana del tipo scorrimento rotazionale ad evoluzione complessa (ID 1887), mobilizzatasi a seguito degli eventi pluviometrici del 04 - 05 marzo 2005 in località Peschiera. Tale evento, dopo una prima mobilizzazione con l'apertura di scarpate di neoformazione e rigonfiamenti nel corpo di frana, non è evoluto in colata seppure le condizioni geomorfologiche "al contorno" fossero "predisponenti".

Il permanere di una possibile evoluzione in colata del fenomeno suddetto conferisce alla zona di piede (a valle della quale è presente una abitazione) il carattere di "area di attenzione" in occasione di eventi pluviometrici intensi.

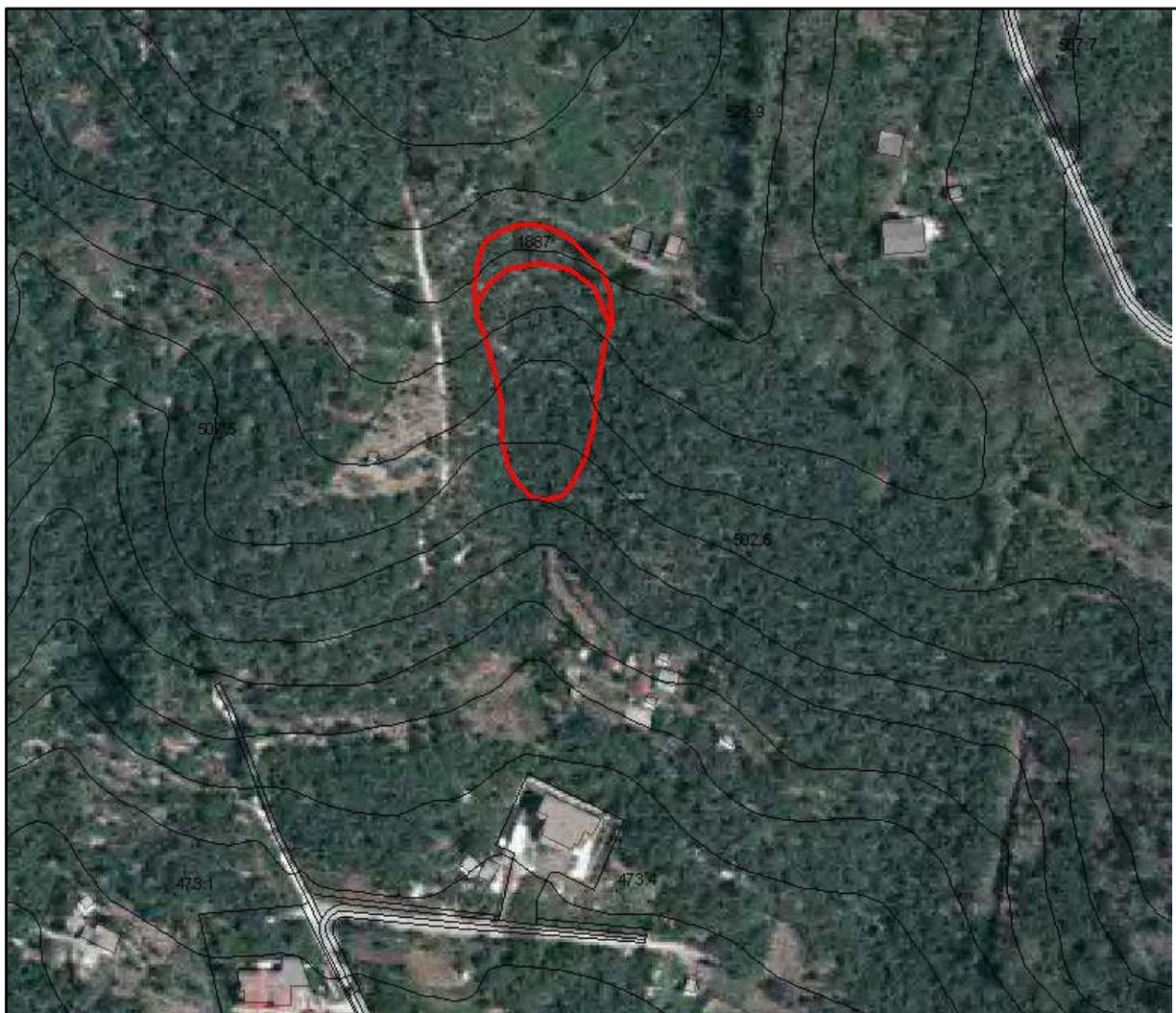


Fig. 14 - Frana complessa di Località Peschiera del 04/03/2005 - ID1887

#### 6.4 Colate rapide di fango in terreni piroclastici dei versanti carbonatici

Le frane di colata rapida di fango sono fenomeni improvvisi nei quali alla fase di primo distacco fa seguito una evoluzione in colata rapida che spesso si incanala, con elevate velocità, nei solchi vallivi o torrentizi. La massa in movimento tende ad aumentare di volume per l'assunzione, lungo il suo percorso, di materiali erosi dal letto e/o dai bordi dell'alveo.

L'accumulo dei materiali di frana assume spesso l'aspetto di una conoide e si colloca nei solchi vallivi di maggior ordine gerarchico, ovvero al bordo dei rilievi nelle aree pedemontane, con sovrapposizione dei depositi di frana ai materiali alluvionali.

La scarsa resistenza all'erosione dei materiali sabbioso-limosi delle coltri piroclastiche rende, viceversa, complesso il riconoscimento sui versanti degli eventi avvenuti nel passato. D'altro canto l'elevato periodo di ritorno che, in genere, caratterizza tali fenomeni e la generale tendenza a rimuovere dalla memoria gli eventi del passato, hanno favorito la intensa urbanizzazione delle aree di conoide obliterandone, talora, le evidenze morfologiche.

In assenza di tracce o "evidenze morfologiche dirette" il riferimento morfologico della franosità pregressa è stato individuato, laddove possibile, nei depositi di conoide detritico-fangose riconoscibili in affioramento nel tratto terminale delle aste torrentizie lungo la valle principale o nel tratto terminale dei valloni.

Da osservare, infine, che in assenza di tracce od elementi morfologici diretti ed indiretti la possibilità di risalire a danni o eventi che hanno interessato alcune aree è affidata unicamente alla individuazione della registrazione storica dell'evento (Fig. 15).

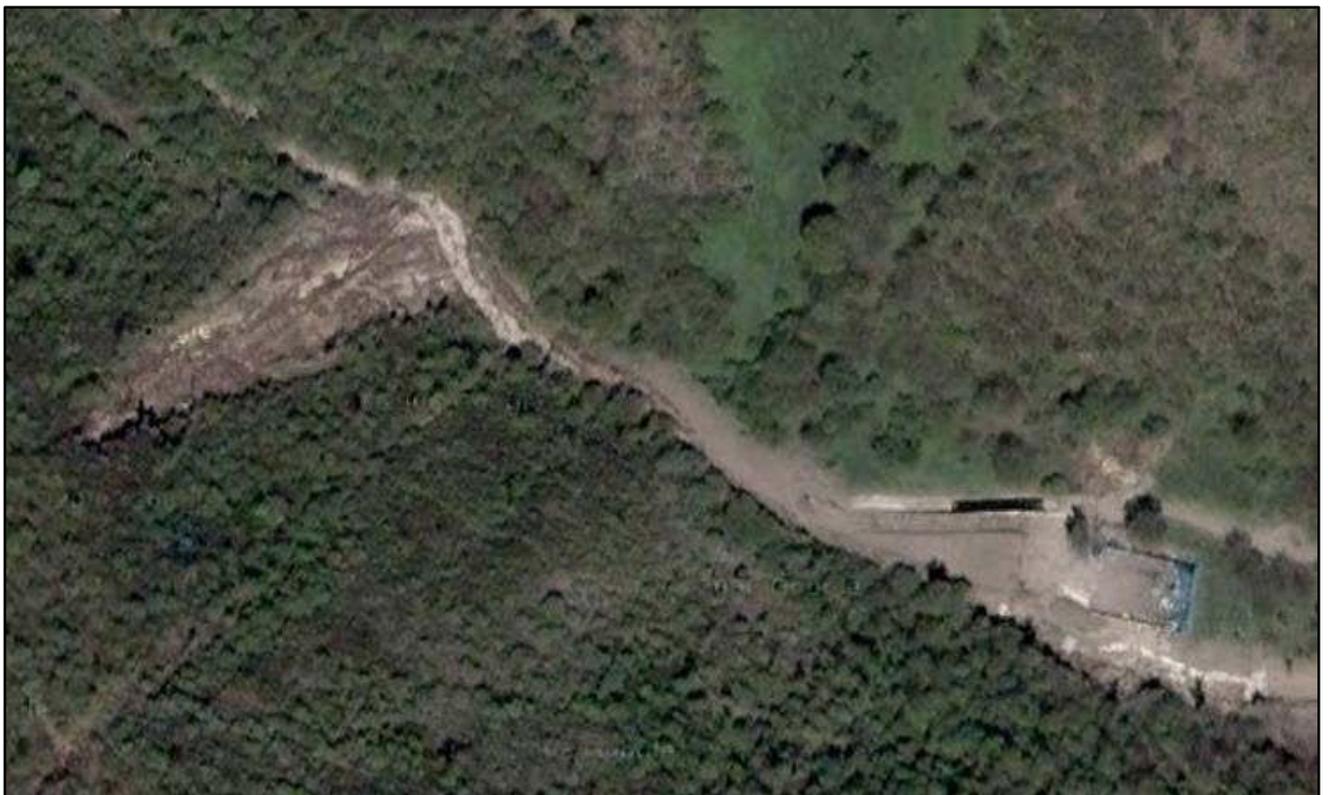


Fig. 15 - Colata rapida incanalata nel Vallone Grotte del 04/03/2005 - ID1885

## 6.5 Colate rapide di fango in terreni piroclastici dei contesti in flysch

Lo studio condotto sulle frane da colata rapida in terreni piroclastici dei contesti in flysch dell'entroterra campano (G. Di Crescenzo, M. Rotella, A. Santo, 2008) ha messo in evidenza le particolarità geologiche e geomorfologiche delle frane che si originano nelle coperture piroclastiche di rilievi collinari terrigeni presenti nel settore orientale della Campania.

Il rilevamento compiuto su alcuni fenomeni franosi di questo tipo ha messo in evidenza che tali dissesti, pur mostrando alcune analogie con quelle dei contesti carbonatici e vulcanici (innesco improvviso ed elevata velocità), presentano marcate differenze da un punto di vista geomorfologico e, in particolare, per quanto riguarda i possibili scenari di attivazione.

Da un punto di vista tipologico si è spesso trattato di frane complesse caratterizzate da un iniziale scorrimento con successiva evoluzione a colata per fenomeni di liquefazione e fluidificazione (flowslides). Le superfici di scorrimento si localizzano nelle coperture piroclastiche ed in particolare nella porzione basale di queste ultime, in prossimità del substrato marnoso-argilloso che è stato spesso messo a giorno nelle aree sorgente.

Da un punto di vista geomorfologico questi tipi di colate rapide presentano marcate differenze rispetto a quelle dei versanti carbonatici in quanto si attivano anche in contesti con acclività modeste (15-25°) e, in particolare, in zone ove solo raramente sono state osservate scarpate o tagli di origine antropica. L'attivazione avviene spesso in concavità morfologiche nelle quali il materiale piroclastico ha avuto la possibilità di accumularsi raggiungendo spessori maggiori e comunque di alcuni metri.

Il volume dei materiali coinvolti generalmente non supera alcune migliaia di metri cubi e, in contrasto con quanto avviene per le frane dei contesti carbonatici, le aree di alimentazione presentano ampiezze rilevanti se rapportate all'area totale interessata dal dissesto.

Per quanto attiene alla capacità di avanzamento, sono stati riscontrati bassi valori dell'angolo di estensione (*reach angle*), generalmente compresi tra 9° e 19°. Ciò dimostra la notevole fluidità delle masse in frana dovuta all'elevato grado di saturazione dei terreni, a sua volta condizionato dall'assetto geologico ed idrogeologico locale (superficie piezometrica prossima al contatto tra substrato e coperture piroclastiche). Le analisi pluviometriche hanno evidenziato il carattere determinante dei mesi piovosi precedenti alla attivazione delle frane. In questo periodo, infatti, si è avuta la completa saturazione delle coperture piroclastiche per apporti provenienti sia dalla falda impostata nel substrato, in seguito alla sua risalita, sia per infiltrazione diretta delle acque meteoriche.

Lo stesso studio, infine, mette in evidenza che queste frane, pur coinvolgendo versanti a bassa pendenza, presentano comunque velocità elevate, notevole fluidità e quindi capacità di avanzamento non trascurabili.

L'area esaminata nello studio sopra citato, che comprende anche il Comune di Forino, ricade nel settore nord-orientale della Campania, dove i massicci carbonatici ed alcuni rilievi collinari terrigeni sono stati ricoperti da pochi metri di depositi piroclastici da caduta (ceneri e pomici) associabili alle diverse eruzioni vulcaniche del Somma-Vesuvio (Fig. 16).

Il substrato è costituito da calcari di piattaforma carbonatica, prevalentemente cretaci, riferibili all'unità stratigrafico-strutturale dei Monti del Partenio (Bonardi et alii, 1988) interessati da importanti faglie regionali che bordano anche la conca di Forino.

Quest'ultima rappresenta un basso strutturale in cui si sono conservati depositi terrigeni (miopliocenici) e i prodotti recenti tufacei dell'Ignimbrite Campana, preservati dall'erosione solo lungo le principali aste vallive (Giulivo & Santo, 1997).

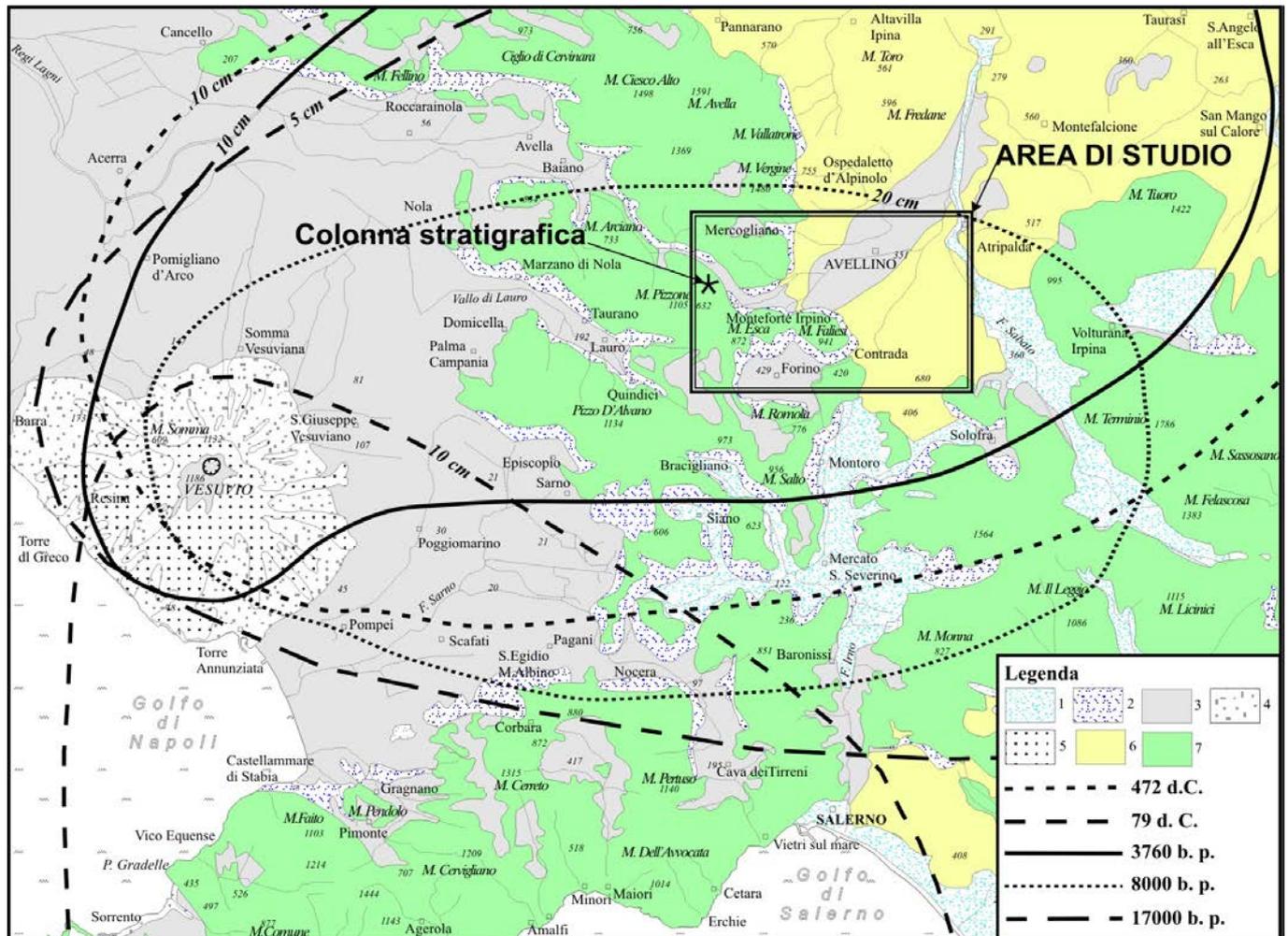
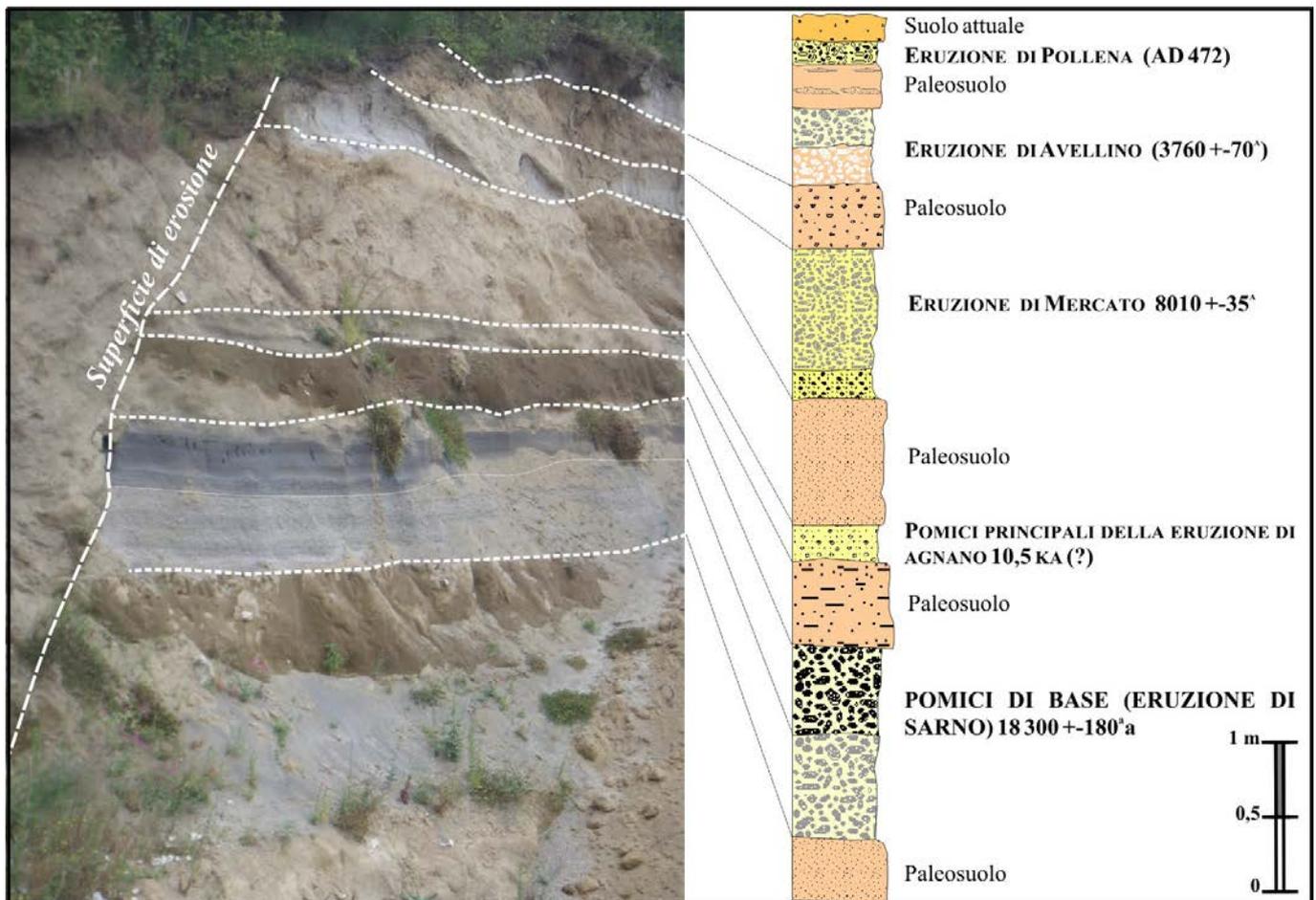


Fig. 16 – Distribuzione dei principali depositi da caduta del Somma-Vesuvio: 1) Depositi alluvionali recenti (Olocene); 2) Detrito di falda (Pleistocene sup.-Olocene); 3) Depositi piroclastici da caduta; 4) Piroclastiti da flusso; 5) Lave (Olocene-Pleistocene); 6) Depositi terrigeni (Mio-Pliocene); 7) Calcari e dolomie mesozoici (dati degli assi di dispersione da Rolandi et alii, 2000).

Le successioni torbiditiche marnoso-argillose mioceniche sinorogene, risultano generalmente molto deformate con valori di permeabilità variabili e, nel complesso, medio-bassi. Esse costituiscono l'ossatura della collina Parianica a nord dell'abitato di Forino. Su questo rilievo sono presenti, diffusamente, coperture piroclastiche (Fig. 16) costituite da alternanze di cineriti pedogenizzate, paleosuoli e livelli pomicei, generalmente dello spessore compreso tra alcuni decimetri e pochi metri (Rolandi, 1997; Rolandi et alii 2000; Pareschi et alii, 2002).

Nella successiva figura (Fig. 17) è riportata una colonna stratigrafica rappresentativa dei principali orizzonti vulcanici presenti nell'area di studio, ricostruita, in un'area di versante, nel Comune di Monteforte Irpino, pochi chilometri a nord-ovest del centro abitato di Forino.

Per quanto riguarda l'assetto geomorfologico i versanti in flysch presentano basse energie di rilievo (alcune centinaia di metri) e acclività medie inferiori a 25°.



*Fig. 17 – Colonna stratigrafica dei terreni piroclastici presenti nell'area di studio, ricostruita nel comune di Monteforte Irpino, la cui ubicazione è riportata nella Figura 11*

Nell'area compresa tra i centri abitati di Avellino, Monteforte, Contrada e Forino si sono innescate più volte negli ultimi decenni frane da colata rapida di fango. Per molte di esse, purtroppo, si è persa la memoria storica e risultano, in gran parte, oblierate dalla vegetazione. Alcune colate hanno interessato i rilievi carbonatici, come quelle del 1997 (n° 7 e 8, Figura 3 e Tabella 1) e le più recenti di M. Faliesi e di Monteforte (n° 24, 25, 26, 27, Figura 3). Circa 20 eventi, con lunghezze spesso maggiori di 100 m, hanno interessato, invece, i versanti in flysch.

Di seguito vengono riportati i dati salienti del dissesto più importante verificatosi immediatamente dopo gli intensi eventi pluviometrici del 9-10 gennaio 1997 che ha interessato la località Strada Breccelle del Comune di Forino (Fig. 18).

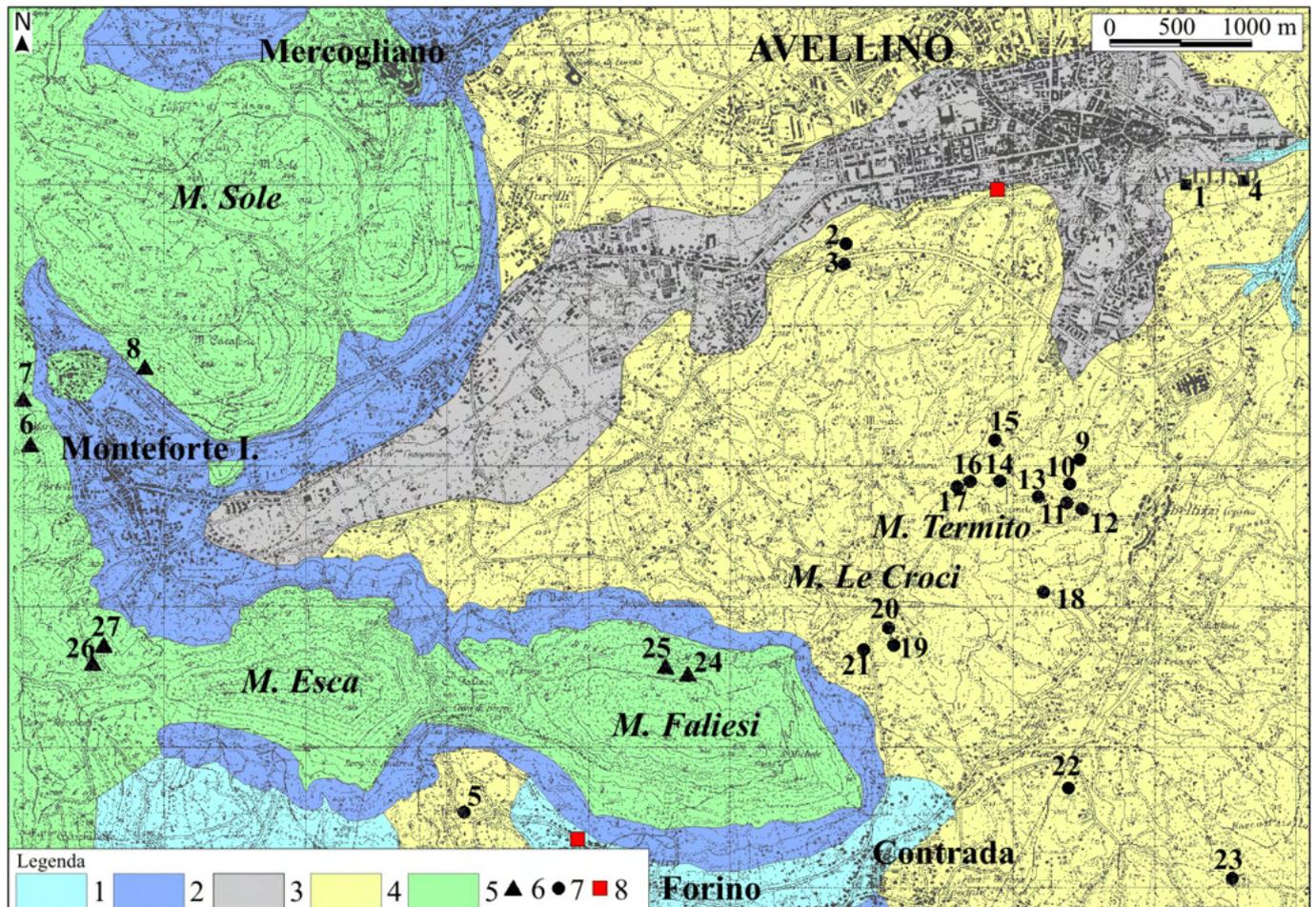


Fig. 18 – Schema geologico dell'area di studio e ubicazione delle principali frane. 1) Alluvioni recenti; 2) Detrito di versante; 3) Ignimbrite campana; 4) Depositi terrigeni mio-pliocenici; 5) Calcari cretacici; Colate rapide su calcari (6) e su versanti in flysch (7); 8) Pluviometro di Forino (For.) e Avellino-Genio Civile (G.C.). La frana 5 riportata in figura è quella che ha interessato la località Strada Breccelle del Comune di Forino nell'anno 1997.

Una colata rapida dello sviluppo di circa 270 m interessò nel gennaio 1997 un versante in flysch in località Parianico in prossimità dell'abitato di Forino (Fig. 19). L'orlo dell'area sorgente zona era localizzato in prossimità della strada che collega Monteforte Irpino a Forino (località Breccelle). Nell'area di alimentazione fu stimato uno spessore di materiale piroclastico pari a circa 1.5 m e furono rilevate alcune sorgenti alimentate dal substrato.

I rilievi eseguiti lungo i fianchi della zona di scorrimento hanno evidenziato una coltre superficiale formata da cineriti e pomici riferibili all'eruzione di Avellino (Fig. 20) poggiante su un substrato flyschoidale di natura marnoso-argillosa.

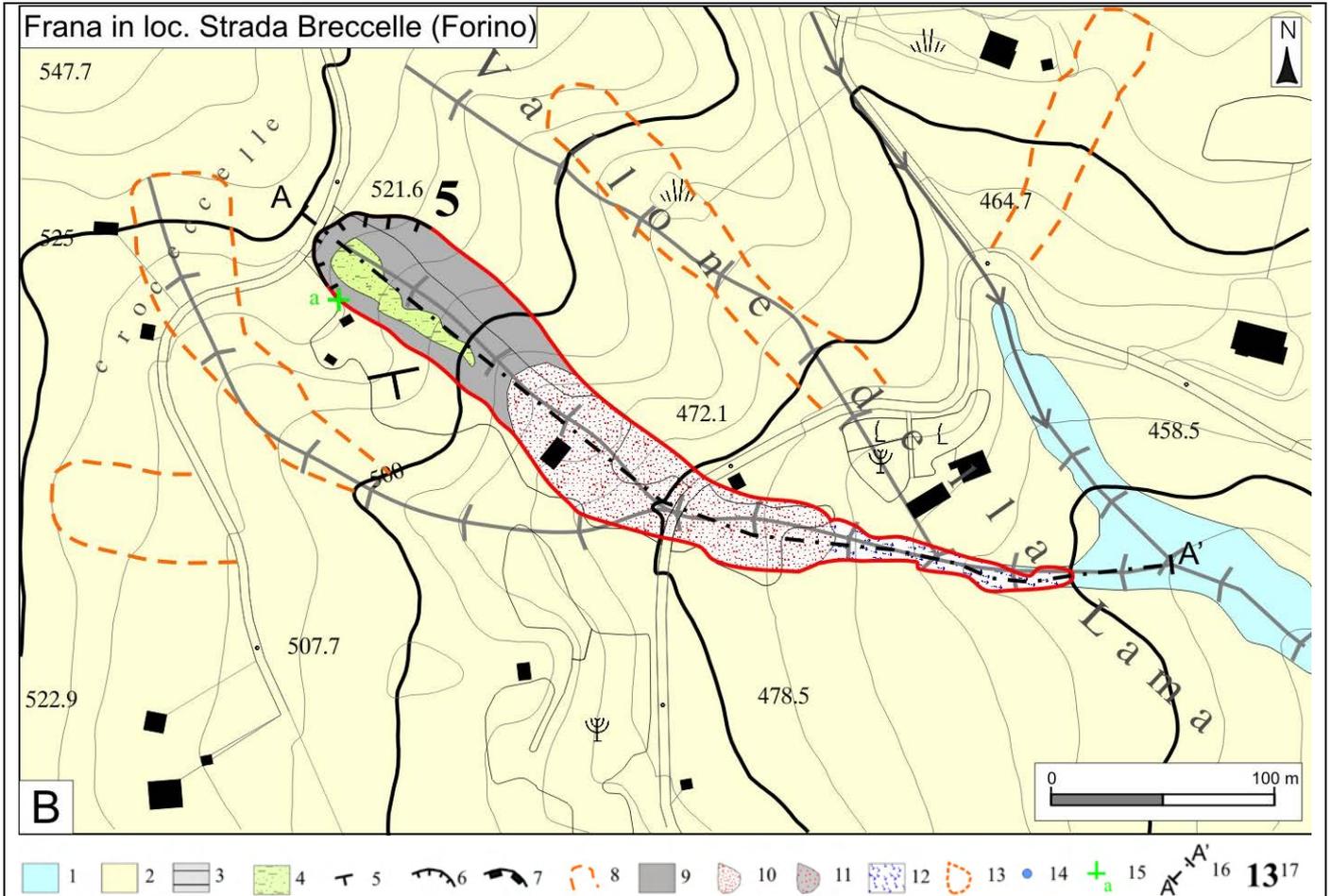
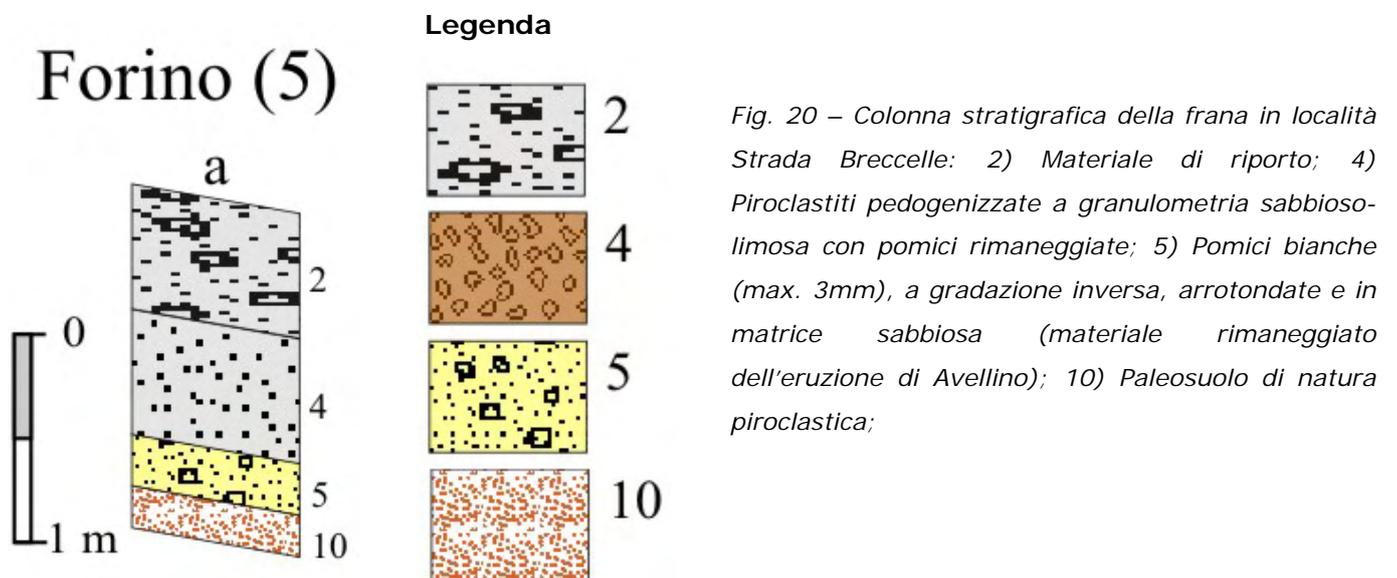


Fig. 19 – Schemi geologici e geomorfologici della frana 5 1) Alluvioni recenti (Olocene); 2) Piroclastiti poggianti su flysch (Olocene); 3) Ignimbrite Campana (Pleistocene superiore); 4) Flysch marnoso-argilloso (Miocene); 5) Giacitura di strato; 6) Coronamento principale e secondario di frane del tipo scorrimento-colata rapida; 7) Coronamento di frana da scorrimento rotazionale; 8) Frana antica; 9) Area di innesco e scorrimento; 10) Cumulo di frana da colata rapida; 11) Cumulo di frana da scorrimento rotazionale; 12) Area di fluidificazione del cumulo; 13) Cumulo di frana antica; 14) Sorgente; 15) Colonna stratigrafica e numero di riferimento; 16) Traccia di sezione geologica; 17) Numero di riferimento di Figura 16.



## 6.6 Formazione dei piping sinkhole nella piana di Forino

I fenomeni da sinkhole sono ampiamente diffusi nel territorio italiano e, interessando sia terreni granulari che rocce litoidi, presentano una notevole variabilità di tipologie. Per la genesi improvvisa e l'assenza di segni premonitori, il loro studio, soprattutto negli ultimi anni, è oggetto di grande interesse e attenzione da parte della comunità scientifica per le gravi conseguenze che la loro formazione può avere sull'ambiente antropizzato.

I sinkhole di origine naturale si originano in contesti geologici ed idrogeologici piuttosto complessi; essi si aprono sia in pianure alluvionali (cover collapse sinkhole, deep piping sinkhole, subsidence sinkhole) che su massicci carsici (cover sinkhole, collapse sinkhole, solution sinkhole, subsidence sinkhole). Generalmente la loro genesi è legata alla presenza di alcuni fattori predisponenti quali: substrato carsificabile, copertura clastica a granulometria variabile, circolazione idrica sotterranea con falde in pressione, presenza di fluidi mineralizzati, presenza di lineamenti tettonici attivi ed eventi sismici che possono concorrere con vario grado di causalità (Sinclair & Stewart, 1985; Facenna Et Al., 1993; Berti Et Al., 2000; Capelli Et Al., 2000; 2004; Ciotoli Et Al., 2001; Nisio, 2003; Closson, 2004; Gutiérrez, 2004; Ferrelli Et Al., 2004; Nisio Et Al., 2004; Nisio & Scapola, 2005; Waltham Et Al., 2005).

In Campania sono stati circa 100 sinkhole (Del Prete et al., 2004) che interessano diversi contesti geomorfologici e che coinvolgono differenti litologie. È stato osservato che i meccanismi d'insacco possono essere molto diversi a seconda dei casi (Del Prete Et Al., 2004; Del Prete & Santo, 2005; Cozzolino Et Al., 2007; Santo Et Al. 2007) e non ancora del tutto chiari soprattutto per quei fenomeni che interessano le aree alluvionali.

La piana di Forino è interessata periodicamente da improvvisi sprofondamenti, definiti appunto "sinkhole", capaci di coinvolgere alcune migliaia di m<sup>3</sup> di terreni con voragini dell'ordine di 10-30 m di larghezza e di profondità.

In quest'area sono stati censiti n°10 sinkhole che si sono sviluppati nei terreni sabbioso-limosi che ricoprono la formazione dell'Ignimbrite Campana. Si tratta di morfologie sub circolari, di cui n°2 ancora attive in questi giorni, con diametri e profondità di alcune decine di metri.

Recentemente, come più volte in passato, nel bacino alluvionale di Forino si sono verificatisi improvvisi sprofondamenti riconducibili a fenomeni di *piping sinkhole*. Nonostante molti di essi siano stati ricolmati ed obliterati, ne sono stati censiti con certezza n°10, n°2 dei quali si sono verificati nel marzo e nel giugno 2005, e n°2 a cavallo tra il 31 marzo ed il 3 aprile 2022.

La maggior parte dei sinkhole (n°8) sono ubicati alle falde del rilievo di M. Romola (di questi 5 sono ancora ben preservati, mentre gli altri 3 sono appena accennati da blande concavità del terreno. Gli sprofondamenti verificatisi negli ultimi giorni sono ubicati, invece, alla frazione Celzi nei pressi dell'impianto di sollevamento (Figg. 20-21).

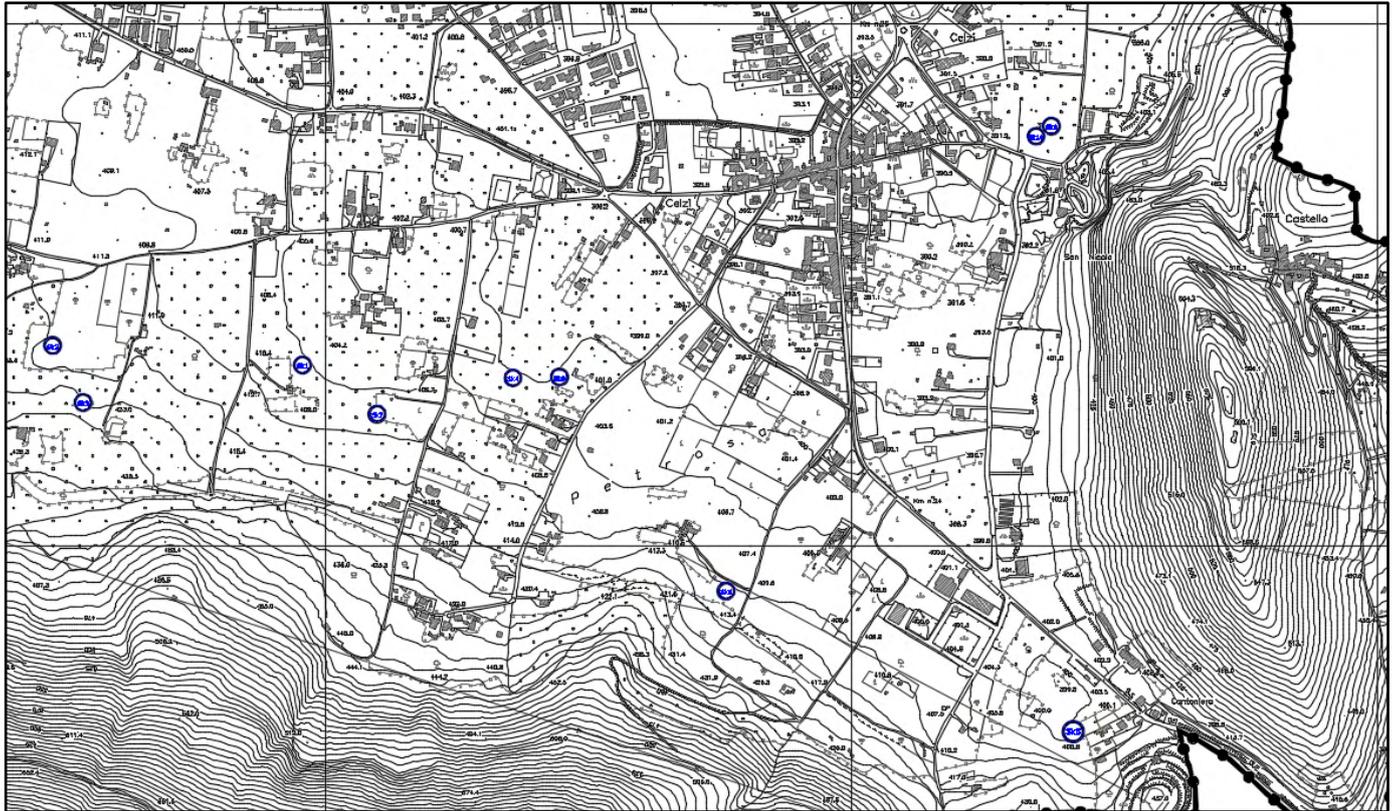


Fig. 20 – Stralcio aerofotogrammetrico con ubicazione dei sinkhole

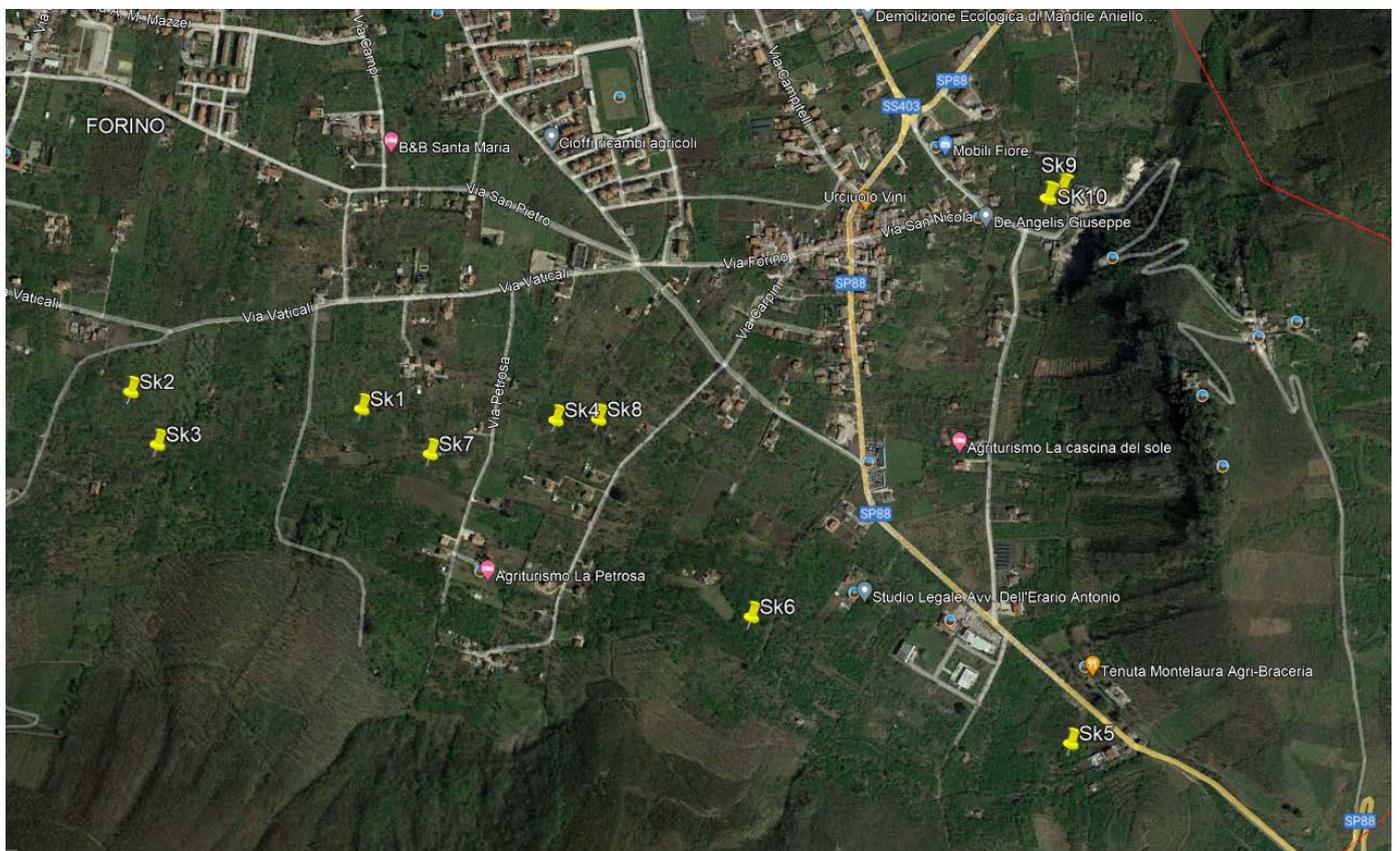


Fig. 21 – Ortofoto tratta da Google Earth con ubicazione dei sinkhole

Tra i *sinkhole* riportati in Figg. 20-21, quelli codificati con la sigla SK3, SK4 e SK5 si presentano come depressioni circolari del diametro di 20÷30 m talora bordate da pareti subverticali ancora ben preservate alte fino a 3÷4 m.

Particolarmente interessante sono le evidenze del *sinkhole* SK5 (Fig. 22) ubicato nell'estremo settore sud orientale della conca di Forino. Sul suo fondo sono state osservate chiare evidenze di riattivazioni recenti per la presenza di radici tranciate dai movimenti di subsidenza e, lungo i suoi bordi, sono evidenti fratture concentriche con piccole scarpate che, per richiamo verso il centro, individuano più ordini di superfici terrazzate associate all'ampliamento del *sinkhole* (Fig. 23).



Fig. 22 - Il *sinkhole* SK5 risalente a circa 80 anni fa. Sono ben evidenti più ordini di superfici di collasso.



Fig. 23 - Evidenze di riattivazione sul fondo del *sinkhole* Sk5.

Per alcuni sinkhole la memoria storica è ancora viva nella popolazione più anziana, come dimostra l'attribuzione di toponimi come nel caso della "Fossa Donna Teresa" (SK3 in Fig. 21) che è ubicata al margine di un conoide alluvionale. Secondo alcune fonti locali la sua formazione risalirebbe ad almeno 80 anni fa e sul suo fondo si tramanda della presenza di un piccolo stagno ove i locali si recavano a fare il bagno.

Poche centinaia di metri a nord di questo sinkhole, sono presenti alcune (almeno 3) blande depressioni chiuse. Le fonti locali, tuttavia, tramandano a memoria d'uomo, solo di un fenomeno in località "Fossa di Zarra" (SK2 in Fig. 21). Nella stessa zona, tuttavia, testimonianze locali riportano che durante una trivellazione per ricerca d'acqua alcune aste sono sprofondate e andate perse per il rinvenimento di un vuoto associato ad una cavità.

Anche in corrispondenza del sinkhole SK1 è ancora riconoscibile una blanda depressione circolare chiusa nel terreno che, secondo fonti locali, sarebbe da riferire al "relitto" di un fenomeno di sprofondamento risalente ad oltre 80 anni fa. Gli eventi più o meno recenti, sono quelli che riguardano il sinkhole SK6, risalente al marzo 2005, e SK7 del giugno 2005 in Contrada Petrosa.

Il primo (Figg. 24-25) si presenta come una forma avente un diametro di circa 15 m ed una profondità di circa 3 m. Lungo il bordo sono presenti fratture concentriche, mentre il fondo si presenta molto irregolare con alberi sradicati.



*Fig. 24 - Il sinkhole SK6 del marzo 2005 fotografato nel novembre 2006*



Fig. 25 - Panoramica del sinkhole SK6 del marzo 2005 come si presentava a marzo 2007.

Il fenomeno di sprofondamento SK7, invece, si è verificato il 12 giugno 2005, quando improvvisamente si è aperta una voragine in contrada Petrosa (località Celzi) a pochi metri da una strada comunale e da alcune abitazioni. Esso presentava un diametro circolare iniziale di 12 m ed una profondità di almeno 25 m per un volume complessivo di circa 2500 m<sup>3</sup>. Lo sprofondamento ha coinvolto terreni prevalentemente di natura limoso-sabbiosa ed ha inghiottito alcuni alberi di nocciolo (Fig. 26).

È da segnalare che al momento dello sprofondamento non si sono avute risalite di acqua, sebbene alcuni testimoni locali, hanno dichiarato di aver sentito passaggio di acqua in profondità.



Fig. 26 - Il sinkhole SK7 di Contrada Petrosa pochi giorni dopo la sua formazione (25 giugno 2005; diametro circa 12 m e profondità di circa 25 m).

Nei mesi successivi, a causa di franamenti periodici del ciglio, la voragine si è ampliata fino a raggiungere un diametro di 25 m ed una profondità di circa 12 m nel marzo del 2007 (Fig. 27).

Il confronto tra le figure 24 e 25, relative al periodo giugno 2005 e marzo 2007, mostrano chiaramente come la naturale evoluzione morfologica del sinkhole sta portando a un graduale colmamento della voragine che nel tempo può giungere ad una quasi completa oblitterazione della morfologia iniziale.

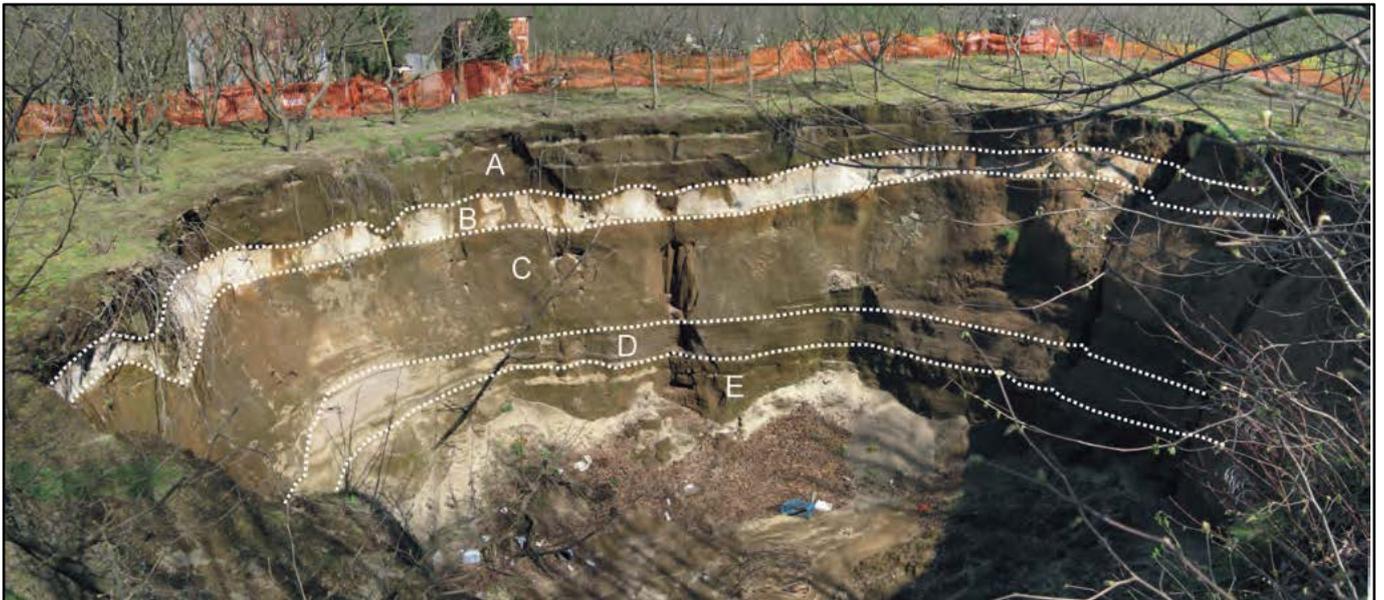


Fig. 27 - Panoramica della stratigrafia visibile lungo le pareti del SK7 di Contrada Petrosa (marzo 2007).  
Legenda: A) suoli recenti con due livelli di eruzioni vulcaniche storiche (472 d.C. e 1631); B) pomici dell'eruzione vulcanica di Mercato/Ottaviano, 8000 anni fa; C) cineriti rimaneggiate (limi sabbiosi) con pomici e locali livelli di sabbie e paleosuoli; D) pomici grigie e scorie dell'eruzione di Sarno rimaneggiate in ambiente alluvionale; E) cineriti (limi sabbiosi) pedogenizzate con locali livelli di sabbie fini.

Per poter comprendere l'assetto geologico stratigrafico di dettaglio dei terreni nel quale si è generato lo sprofondamento di Contrada Petrosa (cfr. SK7), sono state eseguite alcune perforazioni a carotaggio continuo (Fig. 28), tutte condizionate a piezometro, al fine di poter monitorare le oscillazioni della falda (S. Del Prete, I, Giulivo, A. Santo - 2008).

In un primo momento sono stati eseguiti 4 sondaggi lungo il perimetro dello sprofondamento del giugno 2005 (sondaggi S1, S2, S3, S4 in Fig. 28); successivamente, dopo aver riempito il sinkhole con terreno vegetale esso è stato riperforato nel suo centro (sondaggio S7 in Fig. 28).

Altri 2 sondaggi sono stati eseguiti all'interno dei sinkhole SK2 e SK3 che risultano ormai quasi completamente interrati.

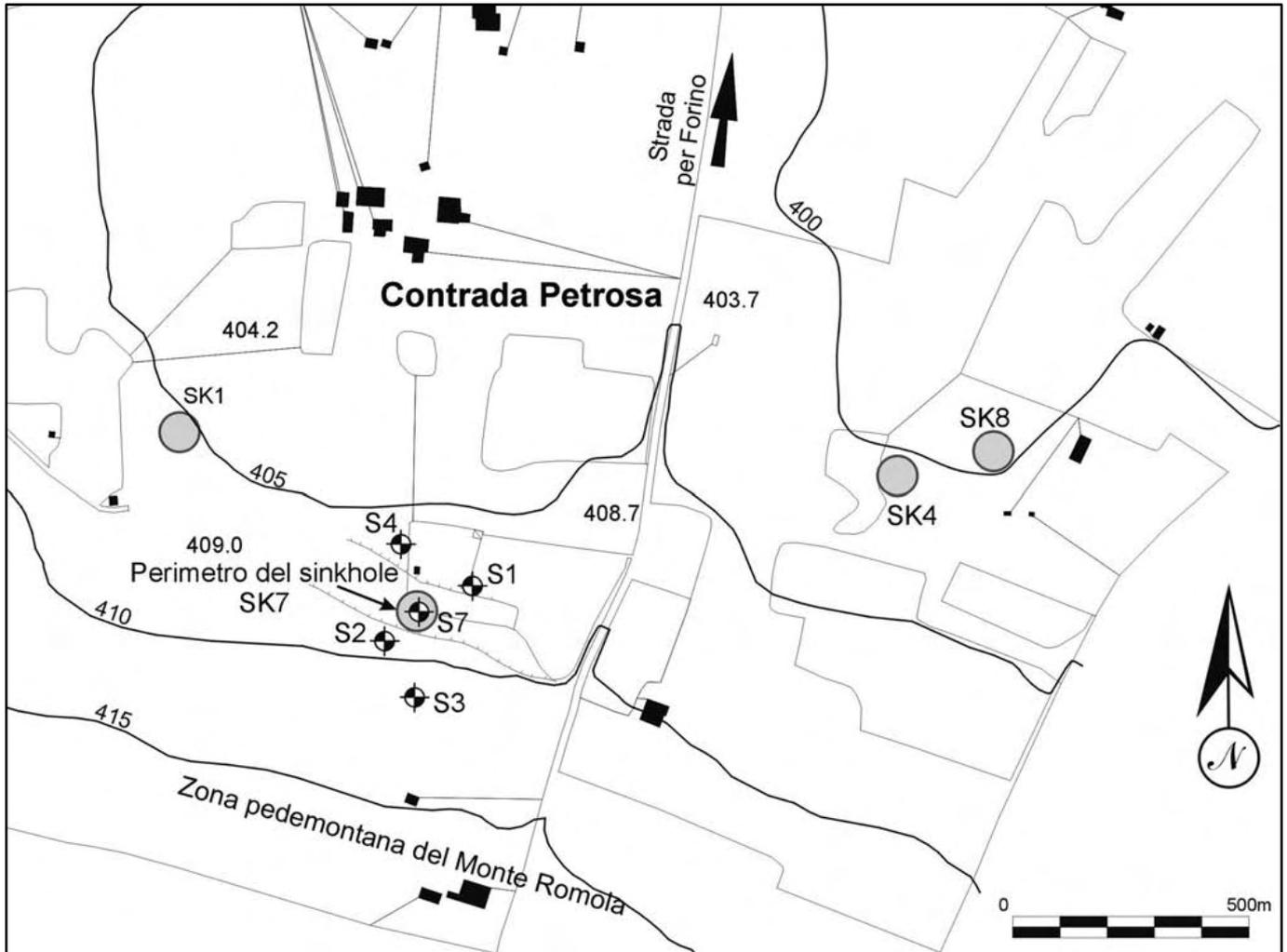


Fig. 28 - Dettaglio topografico dell'area di Contrada Petrosa con l'ubicazione dei sinkhole SK1, SK4, SK7, SK8 e delle perforazioni (S1, S2; S3, S4, S7)

Di seguito sono riportate le stratigrafie dei sondaggi eseguiti.

Il **Sondaggio S1** è stato eseguito 22 m a NE del sinkhole di Contrada Petrosa ed ha raggiunto una profondità di 38 m. A partire dal piano campagna è stato incontrato uno spessore di circa 10 m di depositi piroclastici da caduta ascrivibili ad eruzioni del Somma-Vesuvio (eruzioni di Mercato risalente a 8000 anni fa, Rolandi et al., 1993, probabilmente di Agnano risalente a 10.550 anni fa; Di Vito et al., 1999) in alternanza con livelli cineritici pedogenizzati, livelli sabbiosi e paleosuoli che poggiano su circa 12 m di alternanze di piroclastiti rimaneggiate in ambiente alluvionale e di fall pomiceo-cineritici ascrivibili, probabilmente, alle eruzioni di Sarno (17.000 anni fa; Rolandi, 1997). Nella parte bassa di questo intervallo, tra i 19 e 22 m, sono presenti sabbie alluvionali fini. La prima decina di metri della stratigrafia appena descritta ha trovato anche riscontro con quella affiorante lungo le pareti del sinkhole SK7 (Fig. 27). Un paleosuolo divide nettamente i depositi alluvionali dalla sottostante Ignimbrite Campana (39.000 anni) che è stata carotata per uno spessore di circa 10 m e si presenta lapideo di colore giallo. Il tufo, infine, poggia su flysch arenacei del substrato miocenico.

Il **Sondaggio S2** è stato eseguito circa 25 m a SW rispetto al centro dello sprofondamento di Contrada Petrosa ed ha raggiunto una profondità di 52 m. In sintesi la perforazione ha incontrato per i primi 6 m livelli vulcanici cineritici, spesso pedogenizzati ed alternati a livelli pomicei rimaneggiati; a seguire, sino a circa 23 m di profondità, sono state incontrate prevalentemente sabbie e limi sabbiosi di natura piroclastica ma spesso rimaneggiati in ambiente alluvionale. Da 23 m sino a circa 40 m si ritrovano depositi cineritici e tufacei dell'Ignimbrite Campana che poggiano sul substrato arenaceo, carotato per 12 m sino alla profondità di 52 m dal piano campagna.

Il **Sondaggio S3** è ubicato circa 50 m a sud dello sprofondamento di Contrada Petrosa e si è spinto fino alla profondità di 30 m. Per i primi 18 m sono state incontrate alternanze di cineriti pedogenizzate, livelli pomicei e livelli sabbiosi, per lo più riferibili al rimaneggiamento di fall pomicei in ambiente di conoide alluvionale. Da 18 m a 21 m sono stati carotati i depositi cineritici e tufacei dell'Ignimbrite Campana e, infine, sino a 30 m il substrato flyschoidale in facies arenacea.

Il **Sondaggio S4** è localizzato circa 35 m a nord dello sprofondamento di Contrada Petrosa ed ha raggiunto la profondità di 25 m. Per i primi 24 m sono state incontrate alternanze di cineriti pomicee, sabbie e sabbie limose, talora legate a prodotti da caduta in posto, e talora rimaneggiate in ambiente alluvionale. Tra 24 m e 25 m di profondità è stata rilevata una cinerite in posto contenente molte pomici idiomorfe molto probabilmente da correlare alla parte alta dell'Ignimbrite Campana.

Il **Sondaggio S5** è stato realizzato nella zona centrale del sinkhole SK3 ubicato a circa 500 m ad ovest dallo sprofondamento di Contrada Petrosa ed ha raggiunto i 30 m di profondità. Dal piano campagna sino a circa 21 m di profondità sono stati riscontrati terreni di riempimento del sinkhole di natura limoso-argillosa privi di strutture sedimentarie e ricchi in frustoli carboniosi. Da 21 m sino a 30 m sono state riscontrate prevalentemente sabbie piroclastiche rimaneggiate in ambiente di conoide alluvionale.

Il **Sondaggio S6** è stato effettuato al centro del sinkhole SK2 ubicato circa 600 m ad ovest dello sprofondamento di Contrada Petrosa, ed anch'esso è stato spinto fino a 30 m di profondità. Sino a 20 m di profondità sono stati rinvenuti terreni di riporto privi di strutture sedimentarie spesso con notevole presenza di sostanza organica. Da 20 a 30 m sono stati riscontrati terreni in posto prevalentemente sabbiosi e limoso-sabbiosi legati a depositi piroclastici rimaneggiati in ambiente alluvionale.

Il **Sondaggio S7** è stato eseguito al centro dello sprofondamento di Contrada Petrosa fino ad una profondità di 51 m dopo aver completamente riempito il sinkhole con circa 3000 m<sup>3</sup> di terreno vegetale prelevato da altri scavi realizzati nella piana di Forino. Il sondaggio, per i primi 15 m eseguito a distruzione, dai 15 a 25 m ha incontrato alternanze di sabbie piroclastiche rimaneggiate crollate dalle pareti del sinkhole. Tra 25 e 27 m è stato ritrovato un livello più ricco in sostanza

organica nel quale è stato carotato un tronco di nocciolo non carbonizzato a nostro avviso sicuramente legato allo sprofondamento del giugno 2005. Seguono sino a circa 28,50 altri intervalli cineritici pedogenizzati molto probabilmente ancora legati allo sprofondamento del 12 giugno. Da 28,50 m a 33 m sono state incontrate sabbie e limi sabbiosi in posto di ambiente alluvionale. Da 33 a 50 m è stata perforata l'Ignimbrite Campana che poggia direttamente sul substrato in facies di flysch carotato per circa 1 m.

I sondaggi effettuati sui 4 lati dello sprofondamento di Contrada Petrosa (S1, S2, S3, S4) e quello al centro del sinkhole (S7) insieme ai dati derivanti dalle due perforazioni eseguite in due sinkhole antichi (S5, S6), permettono di proporre un primo chiaro modello stratigrafico del settore del territorio di Forino interessato dagli sprofondamenti e di avanzare alcune preliminari considerazioni sulla loro genesi. In tutti i sondaggi è stata osservata la presenza per i primi metri di depositi vulcanoclastici da caduta di natura sabbioso-limosa che passano in profondità, sino a circa 25m, a sabbie e limi di ambiente alluvionale. Nei sondaggi eseguiti in vicinanza dello sprofondamento della Petrosa (Fig. 29) è stata intercettata l'importante eruzione vulcanica dell'Ignimbrite Campana che si presenta con cineriti e tufi lapidei prevalentemente nella facies gialla con spessore variabile da pochi metri a circa 17 m.

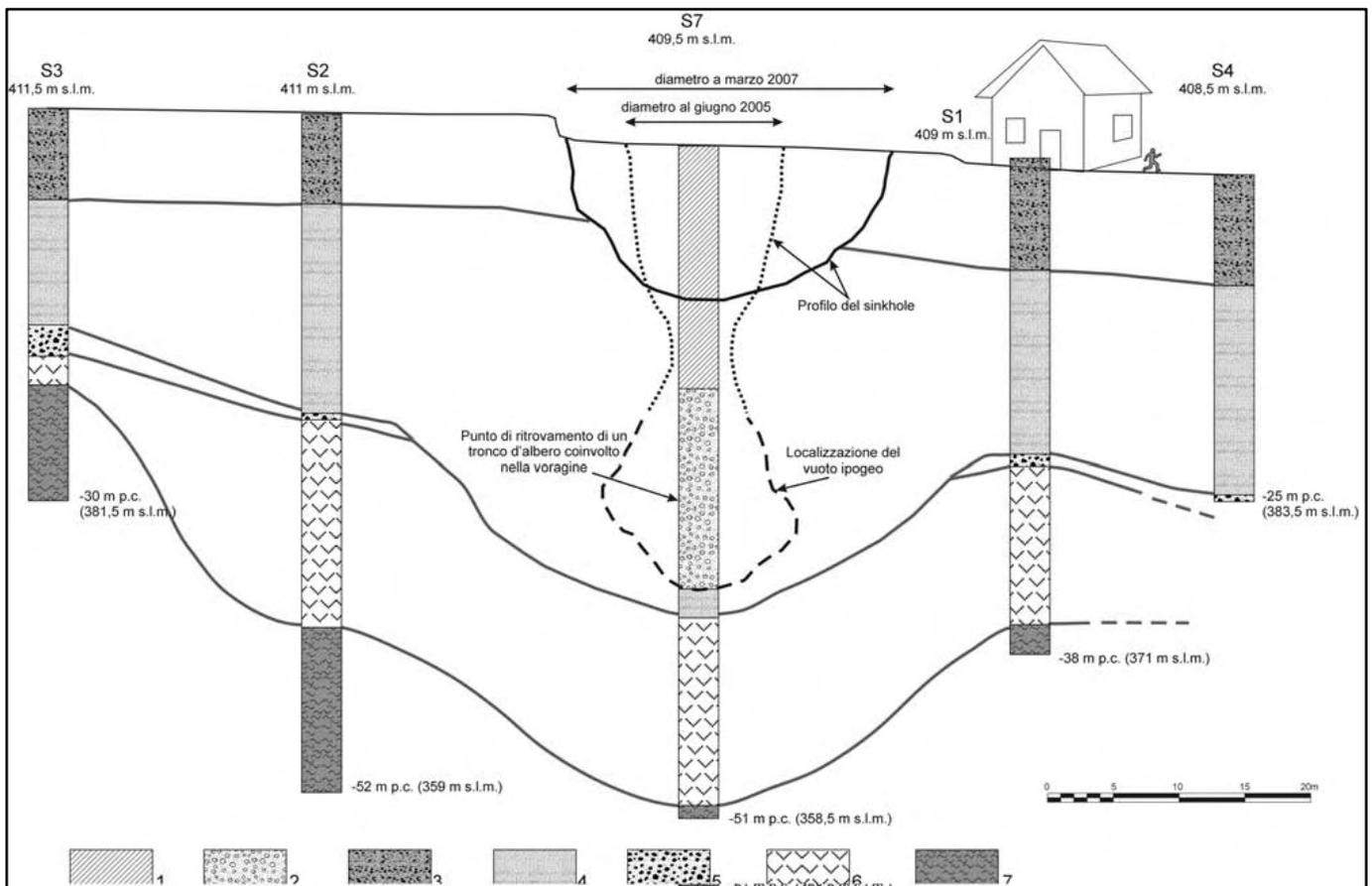


Fig. 29 - Ricostruzione stratigrafica del sito del sinkhole SK7 in Contrada Petrosa. 1) Materiale di riempimento del sinkhole; 2) materiale da crollo del sinkhole; 3) Alternanza di livelli cineritico-pomici rimaneggiati e livelli pomiceo-scoriacei da caduta; 4) piroclastiti sabbioso limose rimaneggiate, alternate a livelli cineritico pomiceo pedogenizzati; 5) cappellaccio dell'Ignimbrite Campana; 6) Ignimbrite Campana; 7) flysch miocenici.

In 4 di questi sondaggi è stato intercettato anche il substrato pre-quadernario rappresentato da depositi miocenici di natura arenacea. Nessuna delle perforazioni, inoltre, ha intercettato il substrato calcareo. Nei due sondaggi eseguiti nei sinkhole antichi di Zarra e Donna Teresa (S6 ed S5), sono stati rinvenuti 20 m di terreni di riporto, che poggiano su sabbie e limi alluvionali in posto. I dati stratigrafici permettono quindi di escludere la presenza di un vuoto carsico almeno per i primi 52 m di profondità.

Sembrirebbe che i vuoti ipogei necessari per giustificare le volumetrie delle voragini, si siano formati nei sedimenti sabbioso-limosi posti al top dell'Ignimbrite Campana come testimoniato anche dal ritrovamento di un tronco di nocciolo durante la perforazione del sondaggio S7 riscontrato a 26 m di profondità e pochi metri al disopra del substrato in posto.

Le sezioni geologiche realizzate nell'area di Contrada Petrosa (Fig. 30), permettono di ricostruire la successione degli eventi sedimentari; esse infatti evidenziano chiaramente un substrato articolato e caratterizzato dalla presenza di una paleoincisione sepolta impostata nel substrato miocenico (Fig. 30A). Questa vallecina sarebbe stata ricolmata durante la deposizione dell'Ignimbrite Campana (circa 39.000 anni fa; Fig. 30B) e nuovamente reincidenta dai successivi fenomeni di erosione lineare (Fig. 30C). Questo dato trova conferma nell'assenza, nel sondaggio S7, dei livelli più alti dell'Ignimbrite Campana (Cappellaccio) presente invece nei settori laterali (sondaggi S1, S2, S3 e S4). Tra 20.000 e 10.000 anni fa si verifica una prima fase di riempimento della paleoincisione per l'apporto di depositi alluvionali nella piana costituiti da piroclastiti rimaneggiate di natura sabbioso-limoso e dilavate dai versanti (eruzione di "Sarno"; Fig. 30D).

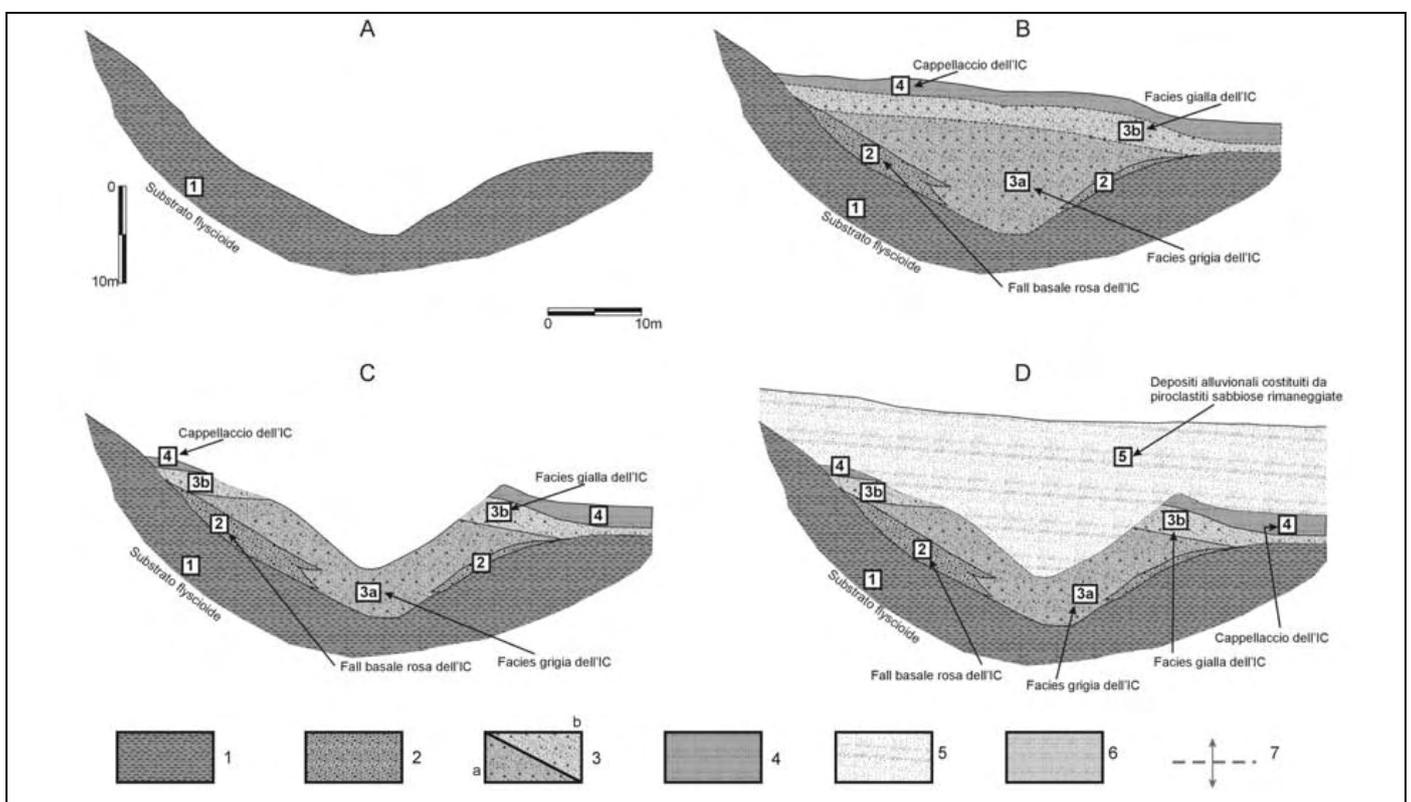


Fig. 30 - Evoluzione geomorfologica del sinkhole SK7 di Contrada Petrosa. A) paleoincisione nel substrato terrigeno (circa 40.000 anni fa); B) deposizione dell'Ignimbrite Campana (circa 39.000 anni fa); C) erosione dell'Ignimbrite Campana operata dal nuovo reticolo idrografico (circa 20.000 anni fa); D) fase di riempimento della paleoincisione (tra 20.000 e 10.000 anni fa circa).

Più recentemente, negli ultimi 10.000 anni, si hanno altri apporti di materiali piroclastici, talora in giacitura primaria, di origine flegreo-vesuviana (eruzioni di “Ottaviano-Mercato” e di “Avellino”) alternati a paleosuoli e a livelli alluvionali limoso-sabbiosi (Fig. 31E). Contemporaneamente al riempimento della piana, si instaurarono le condizioni per la formazione di una falda superficiale nell’acquifero piroclastico alluvionale alimentata anche da travasi laterali provenienti dai vicini massicci carbonatici. Questa circolazione idrica sotterranea trova nelle paleoincisioni sepolte e colmate da corpi sabbiosi, delle vie preferenziali di deflusso. Essa è particolarmente attiva in concomitanza di inverni molto piovosi, e si instaura nel riempimento alluvionale al contatto con substrato impermeabile (Ignimbrite Campana e flysch miocenici). La direzione di drenaggio è orientata parallelamente al versante di M. Romola da WNW verso ESE (Santo et al., 1998).

È probabile che in queste condizioni, analogamente a quanto riportato in letteratura per altri contesti (Arkin & Gilat, 2000), il notevole carico idraulico della falda collegato ad inverni molto piovosi possa creare locali situazioni di erosione sotterranea (soffusione profonda) nei livelli limoso-sabbiosi (Fig. 31F e 31G). Non è un caso che i sinkhole censiti si allineano nella direzione di drenaggio preferenziale della falda.

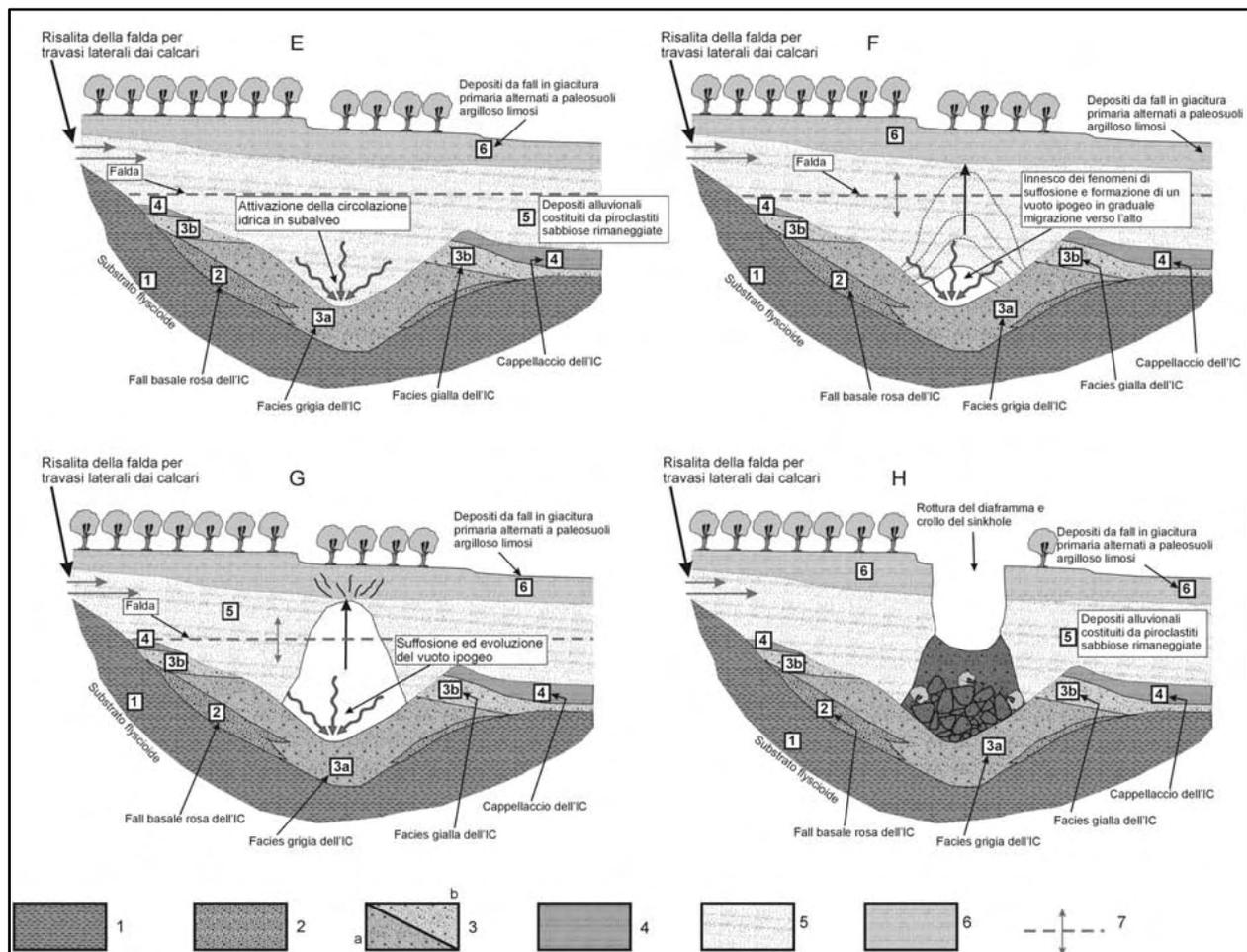


Fig. 31 - Evoluzione geomorfologica del sinkhole SK7 di Contrada Petrosa. E) ulteriore fase di aggradazione della piana per caduta di depositi piroclastici che seppellisce definitivamente la paleo-valle. In profondità si creano le condizioni per la circolazione idrica nell’acquifero piroclastico-alluvionale con un deflusso preferenziale che segue la paleoincisione sepolta (post 10.000 anni fa); F) la circolazione idrica sotterranea innesca un lento processo di erosione sotterranea che porta alla formazione di vuoti; G) la lenta evoluzione del vuoto verso l’alto (H) origina un sinkhole.

Durante la campagna di indagini tutte le perforazioni sono state condizionate con piezometro a tubo aperto per la misurazione della falda. Le misure eseguite dal Maggio 2007 a Giugno 2008 non hanno rilevato la presenza della falda nel corpo alluvionale e nel substrato. La presenza di acqua talora rilevata ai piezometri è da imputare a ristagni a fondo foro come evidenziato anche dall'assenza di variazioni significative del livello idrico. Va ricordato comunque che l'anno 2007 è stato particolarmente siccitoso mentre il livello della falda doveva essere sicuramente più alto nell'inverno 2004-2005 quando cioè si sono avuti gli sprofondamenti.

È molto probabile quindi che in concomitanza degli sprofondamenti la falda abbia subito un notevole innalzamento che purtroppo non è stato possibile quantificare per mancanza di indagini e misurazioni nel corso del 2005. Si ricorda comunque che testimonianze di locali riportano di risalite di acqua almeno per i sinkhole più antichi.

Le prime ipotesi sulla formazione dei sinkhole lascerebbero pensare ad una lenta e graduale erosione nel tempo dei livelli sabbiosi per effetto di una circolazione idrica sotterranea caratterizzata da velocità abbastanza sostenuta e, localmente, con moto turbolento, attiva solo in periodi particolarmente piovosi. La lenta e graduale erosione sotterranea del livello sabbioso potrebbe aver creato una protocavità che si sarebbe evoluta sia lateralmente che verso l'alto fino a raggiungere dimensioni tali da non riuscire a sostenere la volta per gli sforzi di taglio indotti dal carico dei terreni sovrastanti che sono così collassati (Fig. 31G e 31H).

Sulla base di questa ipotesi genetica, rimarrebbe tuttavia da chiarire l'eventuale recapito finale del materiale eroso. Una ipotesi, tutta da dimostrare, potrebbe essere quella della presenza di un paleo inghiottitoio sepolto presumibilmente localizzato in corrispondenza del sinkhole SK5 ubicato in prossimità dei calcari del bordo sud orientale della conca endoreica dove già esistono in superficie analoghe morfologie carsiche (Fig. 32). L'inghiottitoio sepolto potrebbe contribuire allo "smaltimento" del carico solido eroso per fenomeni di *deep piping* nelle aree più a monte.

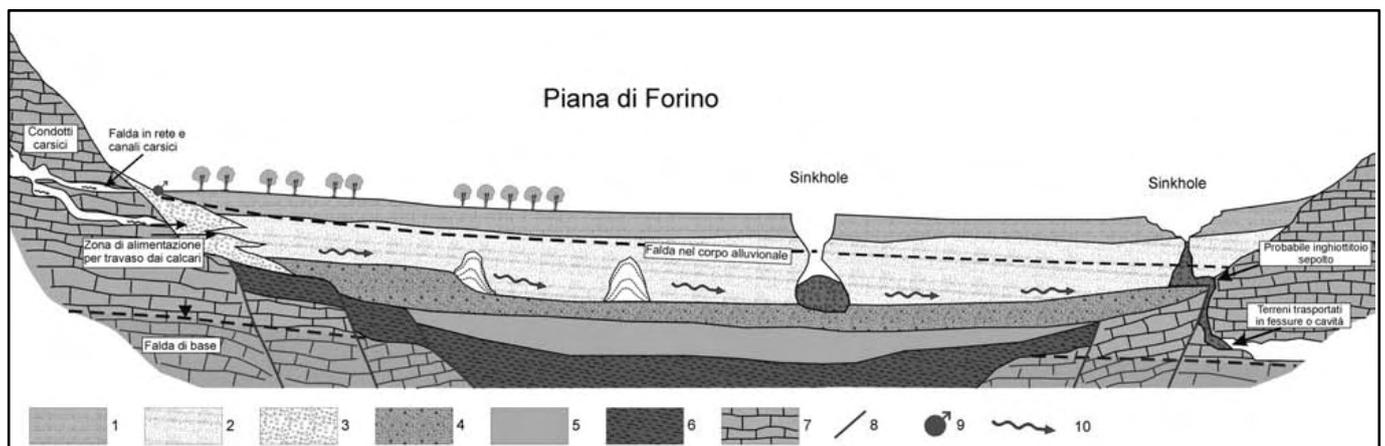


Fig. 32 - Rappresentazione schematica della formazione dei sinkhole nella piana di Forino. 1) Depositi piroclastici da fall alternati a paleosuoli e livelli alluvionali; 2) piroclastiti rimaneggiate in ambiente alluvionale; 3) Ignimbrite Campana; 4) detrito di versante; 5) depositi limoso-sabbiosi pre - Ignimbrite Campana; 6) flysch miocenici; 7) substrato carbonatico mesozoico; 8) faglia; 9) sorgente; 10) circolazione idrica sotterranea nell'acquifero alluvionale.

Le indagini svolte nella conca di Forino confermano che i vuoti responsabili dei collassi si sono formati nei depositi di copertura limo-sabbiosi per fenomeni di suffosione profonda a profondità variabili tra i 20 ed i 25 m ed in assenza di un bedrock carsificabile. I vuoti si creerebbero lentamente a causa dell'erosione meccanica operata da flussi turbolenti che asporterebbero i terreni a granulometria più sottile in particolari condizioni di notevole ricarica della falda. Il fenomeno si instaura all'interfaccia tra terreni meno permeabili (flysch e tufi) ed i soprastanti terreni alluvionali sabbioso-limosi (Fig. 32). Successivamente il vuoto migrerebbe lentamente verso l'alto fino ad intercettare la superficie topografica e generare il collasso finale (Figg. 31-32).

Si esclude quindi l'ipotesi della presenza e dell'influenza di eventuali cavità nel substrato carbonatico e anche quella di flussi profondi risalenti lungo faglie di cui, peraltro, non c'è nessuna evidenza superficiale. Il contributo dei calcari e del carsismo in generale, sarebbe fondamentale invece per la veloce ricarica e l'aumento del carico idraulico nella falda multistrato dell'acquifero alluvionale (Fig. 32).

Il substrato carsificato, inoltre, potrebbe spiegare la scomparsa dei notevoli volumi di terreni asportati (poche migliaia di m<sup>3</sup>). Infatti, lungo il bordo sud orientale della conca e laddove i calcari vengono a contatto diretto con l'acquifero piroclastico alluvionale, si potrebbe avere lo smaltimento di parte delle acque dell'acquifero alluvionale e del trasporto solido verso la falda profonda attraverso inghiottitoi sepolti (Fig. 32).

Volendo sintetizzare quanto accade nel bacino endoreico di Forino, è possibile affermare che le indagini in sito eseguite per lo studio di questi fenomeni di (S. Del Prete, I, Giulivo, A. Santo) hanno permesso di ricostruire la stratigrafia di sottosuolo per i primi 50 metri di profondità, che è caratterizzata dalla presenza di un riempimento alluvionale di natura limoso-sabbiosa, poggiante su di un substrato poco permeabile (Ignimbrite Campana e flysch miocenici). È stata quindi esclusa la presenza di calcari e di vuoti carsici per almeno i primi 50 m di profondità.

Le perforazioni effettuate in alcuni di essi e l'osservazione diretta dello sprofondamento più recente (12 giugno 2005), hanno evidenziato che i vuoti si sono formati a partire da circa 25 m di profondità e che hanno interessato i terreni sabbioso-limosi alluvionali.

I sinkhole si allineano lungo la direzione di drenaggio preferenziale della falda presente nel corpo alluvionale e sono concentrati, come detto precedentemente, soprattutto nelle aree alla base del versante settentrionale di M. Romola e alla frazione Celzi nei pressi dell'impianto di sollevamento che costituiscono, quindi, il settore della piana più suscettibile a questi fenomeni. Il citato studio ha dimostrato che i vuoti si generano per fenomeni di erosione causati da una circolazione idrica sotterranea, attiva in concomitanza di periodi molto piovosi e caratterizzata, probabilmente, da moti turbolenti. Tale circolazione si instaura al contatto tra il materiale sabbioso-limoso ed i sottostanti strati poco permeabili (Ignimbrite Campana e flysch miocenici). È molto probabile che la circolazione idrica sotterranea sia alimentata anche da falde sospese ed in rete carsica presenti nei massicci carbonatici che circondano la piana. Per quanto riguarda l'erosione dei notevoli volumi asportati (alcune migliaia di m<sup>3</sup>) è ipotizzabile che essi siano smaltiti da inghiottitoi sepolti, presenti lungo il margine orientale della conca endoreica.

## 6.7 Formazione di sinkhole nei mesi di marzo e aprile 2022

Nei giorni 31 marzo e 2 aprile 2022 alla frazione Celzi (Figg. 33-34), nei pressi dell'impianto di sollevamento, si sono verificati n°2 fenomeni di sprofondamento, a distanza di circa 30 metri uno dall'altro, in seguito alle abbondanti piogge dell'ultimo periodo (Figg. 35-36).

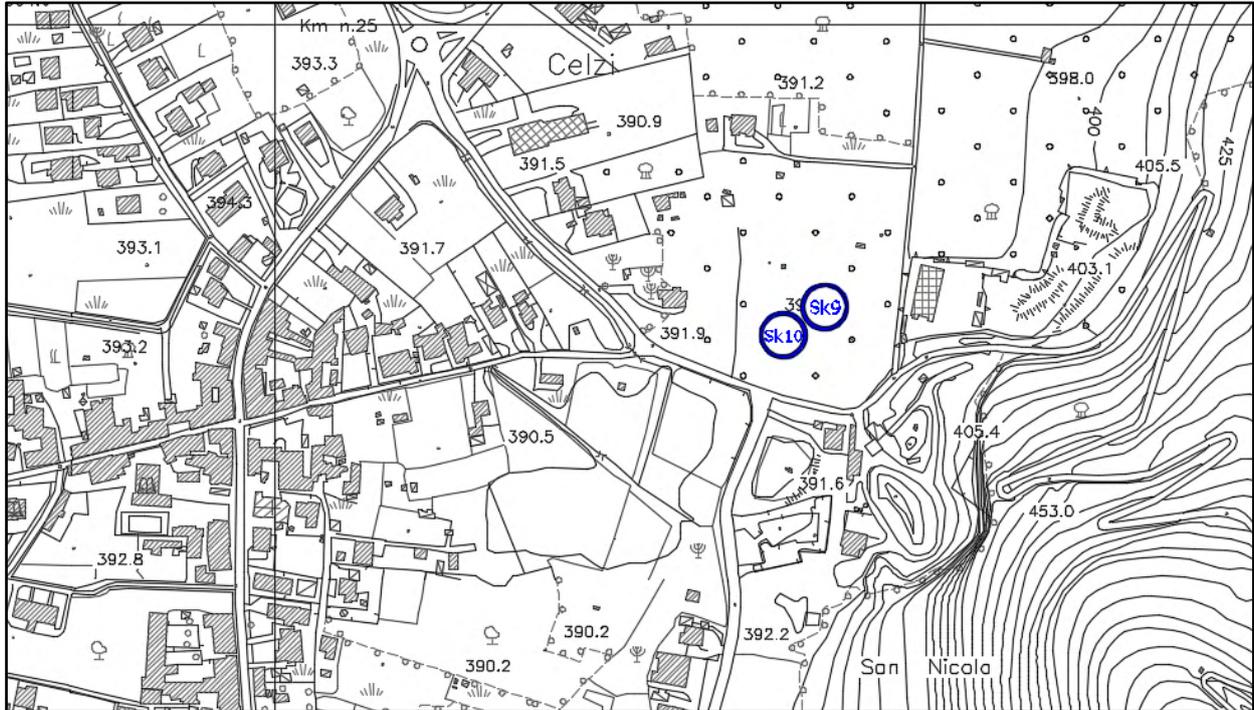


Fig. 33 – Ubicazione dei sinkhole del 31 marzo 2022 (Sk9) e del 2 aprile 2022 (Sk10)

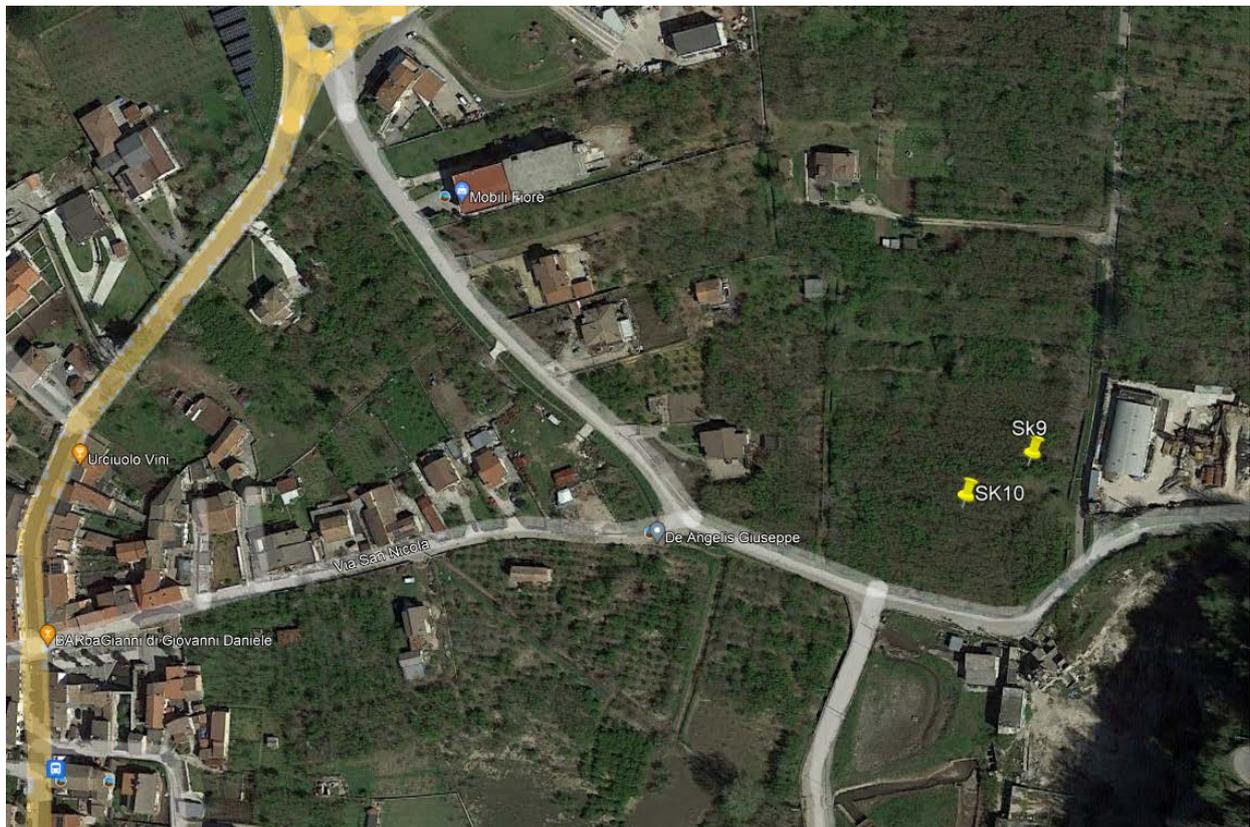


Fig. 34 – Ubicazione dei sinkhole del 31 marzo 2022 (Sk9) e del 2 aprile 2022 (Sk10)



*Fig. 35 - Sinkhole SK9 in località Celzi del 31 Marzo 2022.*



*Fig. 36 - Sinkhole SK10 in località Celzi del 2 Aprile 2022.*

Per quanto detto precedentemente non si esclude che nel sottosuolo della piana di Forino siano presenti altri vuoti, non ancora noti perché profondi o perché non hanno ancora raggiunto la superficie topografica.

In prima approssimazione, sulla scorta dei sinkhole presenti e dell'assetto stratigrafico ed idrogeologico della piana di Forino, la fascia di territorio che è da ritenere più suscettibile all'insacco di nuovi sprofondamenti si allinea in corrispondenza della zona di drenaggio preferenziale della falda dell'acquifero piroclastico alluvionale.

Tuttavia una zonazione più precisa su un territorio così vasto non potrà che essere realizzata a valle di ulteriori indagini e soprattutto attraverso la definizione dello schema idrogeologico locale ed il monitoraggio della falda nell'acquifero alluvionale.

In base alle attuali conoscenze, l'area di attenzione (Fig. 37) è stata definita sulla base della presenza di questa unità nel sottosuolo e delle modalità della circolazione idrica sotterranea che, allo stato delle conoscenze attuali, sembrano controllare i fenomeni di erosione sotterranea a cui si associano i sinkhole.

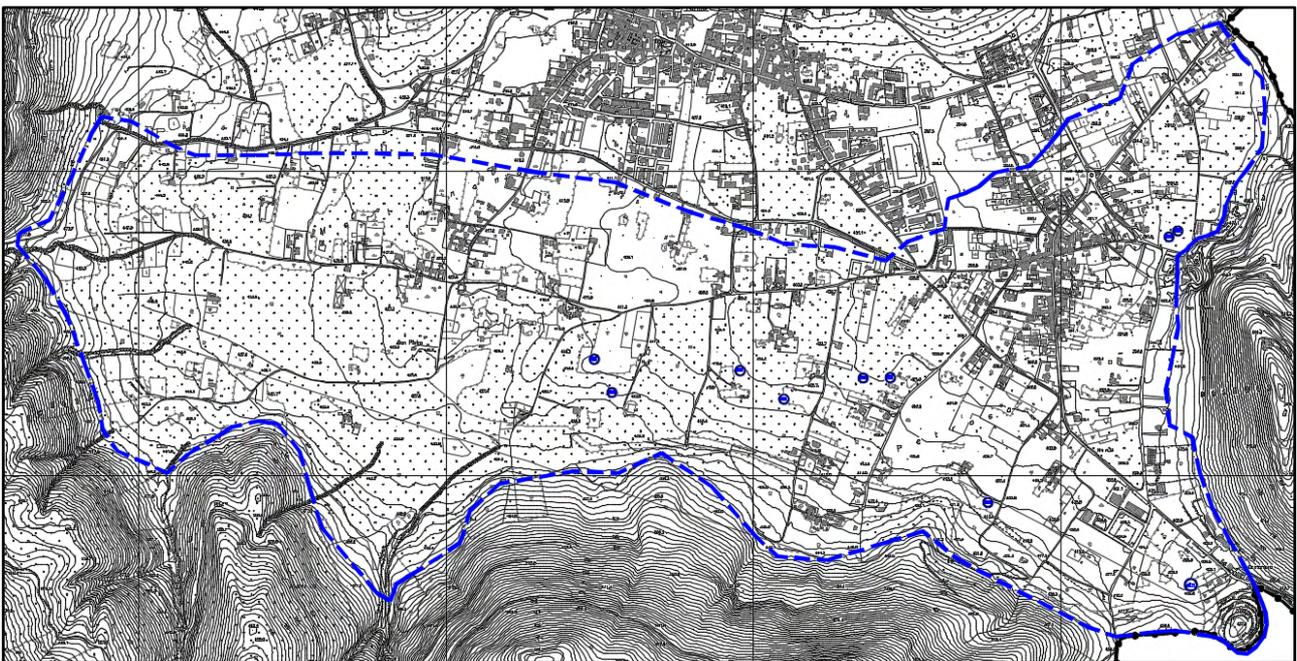


Fig. 37 – Area di attenzione per fenomeni di sprofondamento.

## 7. Considerazioni generali sul rischio sismico di Forino nel contesto regionale

La storia sismica della Regione Campania è ricca di eventi anche di forte intensità. L'analisi della distribuzione dei terremoti storici e recenti della Campania evidenzia che la maggior parte dell'attività sismica è concentrata nella fascia interna della catena appenninica con un'estensione nell'area vulcanica costiera del Vesuvio-Campi Flegrei.

Le caratteristiche morfo-strutturali della regione consentono di individuare come aree sismogenetiche di maggiore rilevanza il Sannio, l'Irpinia, l'alta valle del Sele-Alburni ed il bordo orientale del Massiccio del Matese.

Da tali aree si diparte il rilascio di medio-alti livelli di energia sismica, che può produrre effetti sensibili in tutte le cinque province campane. Inoltre, l'area della Provincia di Napoli, a causa della presenza del vulcanismo attivo dei Campi Flegrei, dell'Isola d'Ischia e del Somma-Vesuvio, risulta esposta anche alla sismicità di origine vulcanica, caratterizzata da livelli energetici più bassi degli eventi sismici rispetto alla sismicità di origine appenninica.

La seguente tabella riporta i principali terremoti che hanno interessato l'Appennino Meridionale ed in particolare il territorio campano nell'ultimo millennio (Fig. 38).

Data	Intensità (MCS)	Aree interessate dal sisma
5 maggio 1456	XI	Italia Centro - Meridionale
19 agosto 1561	IX - X	Vallo di Diano (province di Salerno e Potenza)
5 giugno 1688	XI	Campania - Molise (province di Benevento, Caserta, Avellino, Campobasso, Isernia)
8 settembre 1694	X - XI	Irpinia-Basilicata (province di Avellino e Potenza)
14 marzo 1702	X	Sannio - Irpinia (province di Benevento ed Avellino)
29 novembre 1732	X - XI	Irpinia
9 aprile 1853	X	Irpinia e le alte valli dei fiumi Sele ed Ofanto
28 luglio 1883	X	Casamicciola - Isola d'Ischia
23 luglio 1930	X	Irpinia
23 novembre 1980	X	Irpinia-Basilicata

Fig. 38 – Elenco dei maggiori terremoti che hanno interessato il territorio regionale nell'ultimo millennio (Boschi et. al, 1997)

## 7.1 Indicazione della zona sismogenetica

La Zonazione sismogenetica per il territorio nazionale, denominata ZS9, è stata eseguita dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Meletti e G. Valensise - marzo 2004) che rappresenta il risultato di modifiche, accorpamenti ed elisioni delle numerose zone della precedente *Zonazione sismogenetica ZS4* (Scandone e Stucchi, 2000) e dell'introduzione di nuove zone (Fig. 39).

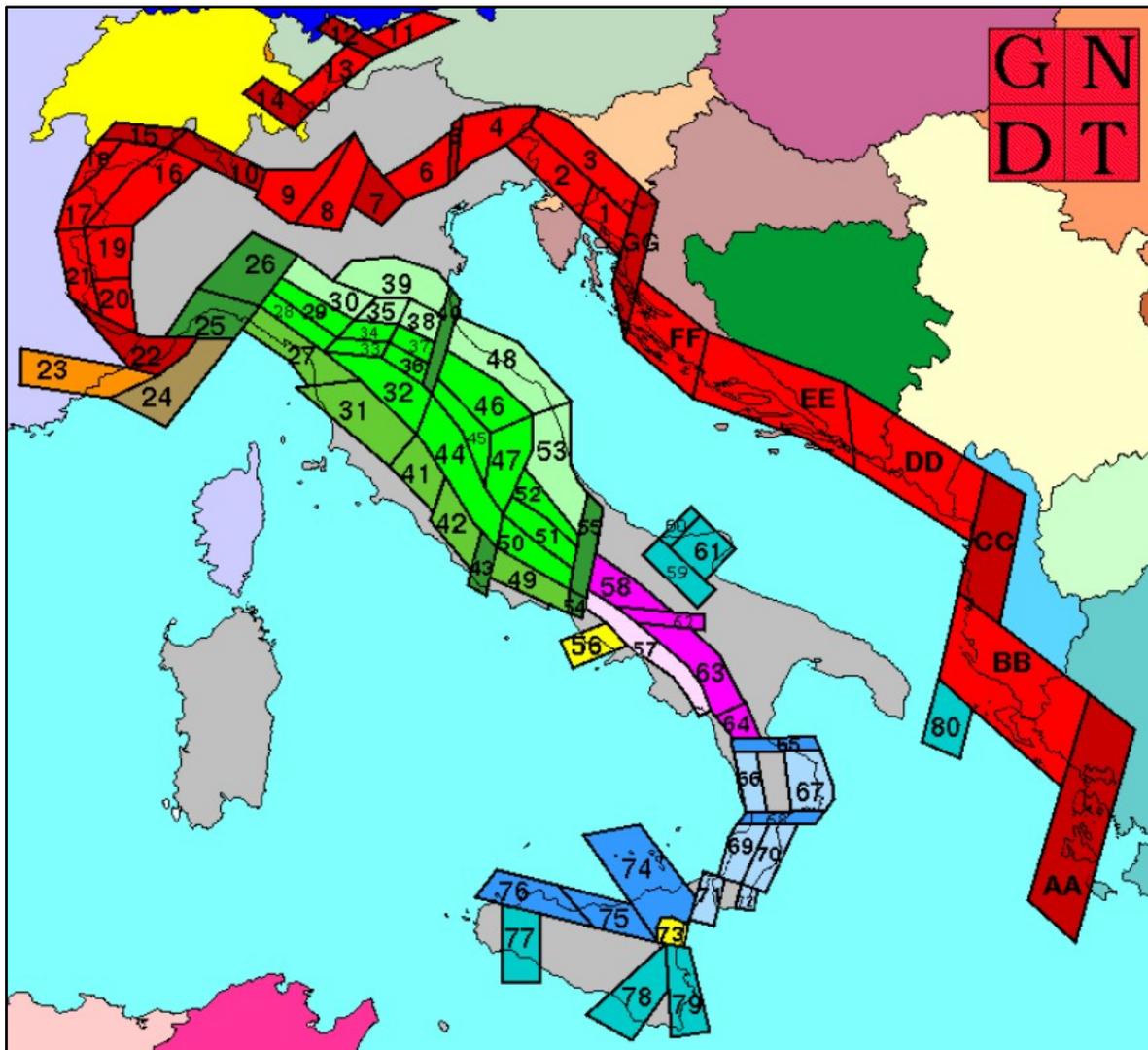


Fig. 39 – Zonazione sismogenetica ZS4

L'obiettivo di questa ricerca è stato la realizzazione di un modello più coerente con i nuovi dati e con il quadro sismotettonico oggi disponibile, tenendo in considerazione soprattutto le indicazioni e gli spunti che derivano dall'analisi dei dati relativi ai terremoti più importanti verificatisi successivamente alla predisposizione di ZS4, alcuni dei quali (tra gli altri Bormio 2000, Monferrato 2001, Merano 2001, Palermo 2002, Molise 2002) localizzati al di fuori delle zone-sorgente in essa definite. La zonazione sismogenetica ZS9 è stata disegnata in maniera tale da soddisfare i seguenti requisiti:

a) *essere basata sul pregresso modello ZS4;*

- b) *ricepire le informazioni sulle sorgenti sismogenetiche italiane alla luce delle nuove evidenze di tettonica attiva e delle valutazioni sul potenziale sismogenetico acquisite negli ultimi anni;*
- c) *considerare ed analizzare i dati relativi a terremoti localizzati al di fuori delle zone sorgente definite in ZS4;*
- d) *essere utilizzabile con i dati di CPTI2;*
- e) *fornire una stima di profondità "efficace", definita come l'intervallo di profondità nel quale viene rilasciato il maggior numero di terremoti in ogni zona sorgente, utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione determinate su base regionale;*
- f) *fornire per ogni ZS un meccanismo di fagliazione prevalente, utilizzabile con le relazioni di attenuazione classiche modificate secondo le procedure di Bommer et al., (2003).*

La Zonazione sismogenetica ZS9 è costituita da 36 zone-sorgente identificate con un numero (da 901 a 936) o con una lettera (da A ad F) (Fig. 40).

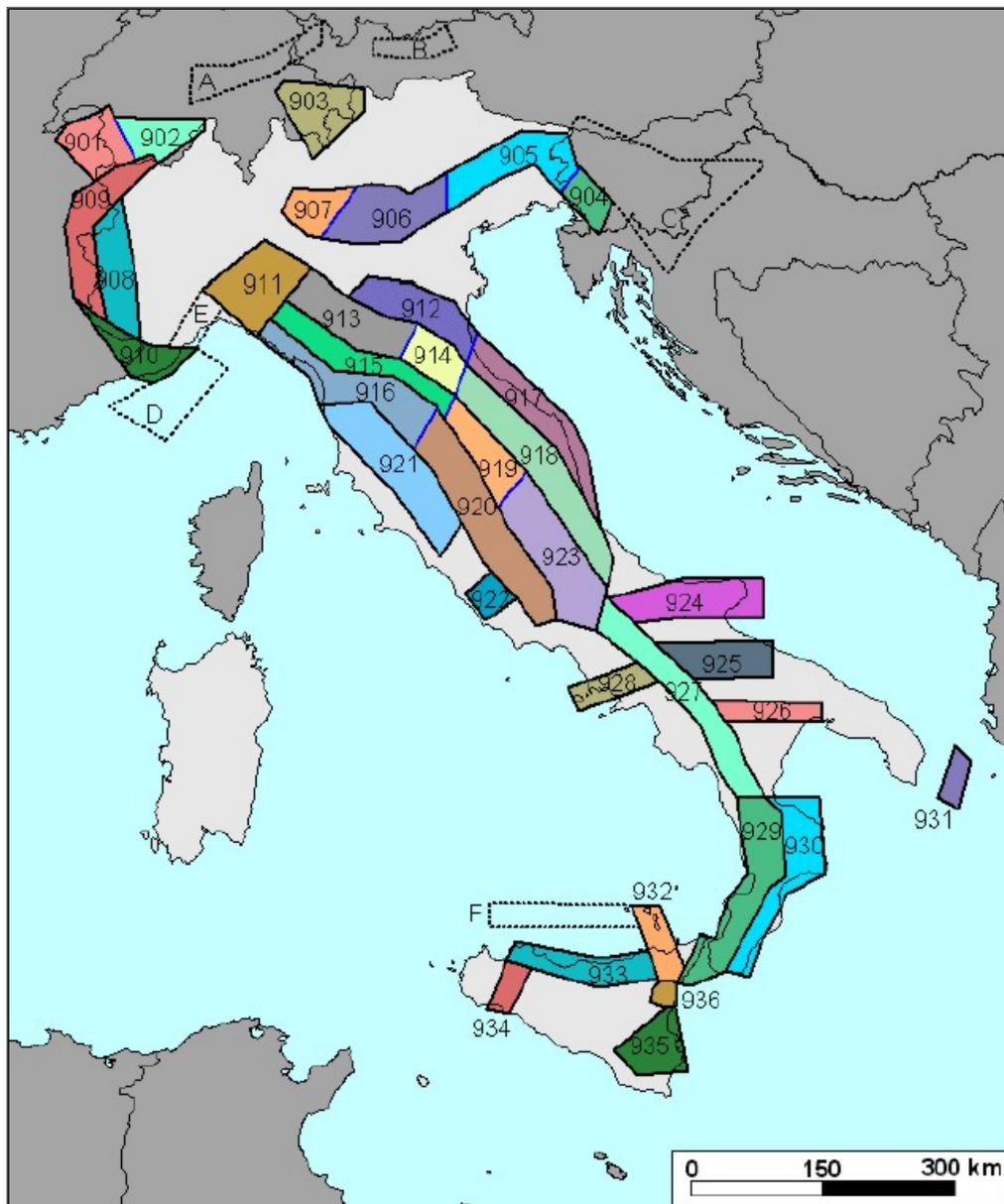


Fig. 40 – Zonazione sismogenetica ZS9

Oltre alla riduzione del numero di zone rispetto alla ZS4, la ZS9 è caratterizzata anche da modifiche dei limiti delle zone, che sono state effettuate tenendo conto dei nuovi dati relativi alle geometrie di singole sorgenti o di insiemi di queste. Si deve però tener presente che i confini geografici di molte zone di ZS9 rappresentano il frutto di un compromesso tra numerosi parametri, di conseguenza, sono affetti da un certo margine di incertezza.

Per far fronte a questa problematica, nella redazione di ZS9 si è fatto ricorso ai “bordi morbidi”, cioè ad una fascia (definita in chilometri) di dimensioni variabili, nella quale si produce uno smussamento della distribuzione della pericolosità, producendo così gradienti meno accentuati ai confini tra le diverse ZS.

La geometria delle sorgenti sismogenetiche della Campania e, più in generale, l'Appennino Meridionale (zone da 56 a 64 in ZS4 e zone da 924 a 928 in ZS9), in seguito alla realizzazione della zonazione sismogenetica ZS9, è stata sensibilmente modificata rispetto a ZS4 (Rapolla, 2005). La zona 927 include l'area caratterizzata dal massimo rilascio di energia legata alla distensione generalizzata che, a partire da ca. 0.7 Ma, ha interessato l'Appennino meridionale (es. Patacca et al., 1990). Tale zona comprende tutte le precedenti zone di ZS4 coincidenti con il settore assiale della catena, fino al confine calabro-lucano (massiccio del Pollino).

La zona 57 di ZS4, corrispondente alla fascia costiera tirrenica, è stata in gran parte cancellata. Infatti si ritiene che, in caso di zonazione della fascia tirrenica, la sismicità non sarebbe tale da consentire una definizione affidabile dei tassi di sismicità. Peraltro, il contributo che verrebbe alla PGA sarebbe del tutto trascurabile rispetto agli effetti che su questa stessa zona verrebbero dall'attivazione di sorgenti nella zona 927.

La parte rimanente della zona 57, insieme alla zona 56 sono attualmente rappresentate dalla zona 928 (Ischia-Vesuvio), che include l'area vulcanica napoletana, con profondità ipocentrali comprese nei primi 5 km.

Nell'area al confine tra la catena e la Puglia, cioè l'area dell'avanfossa e dell'avampaese apulo, le nuove conoscenze sulla sismicità locale, suggerite dalla sequenza sismica del Molise del 2002 (Di Bucci e Mazzoli, 2003; Valensise et al., 2004), hanno comportato scelte che cambiano notevolmente le caratteristiche sismogenetiche dell'area ed hanno permesso di identificare sorgenti con direzione EW, caratterizzate da cinematica trascorrente.

E' stata così identificata (Fig. 41):

- nell'area garganica una zona 924 (Molise-Gargano) orientata E-W, che include tutta la sismicità dell'area e la faglia di Mattinata, generalmente ritenuta attiva;
- una zona 925 (Ofanto) la cui geometria trae in parte spunto dalla zona 62 di ZS4, ad andamento WNW-ESE;
- la zona 926 (Basento) ad andamento E-W, definita dall'allineamento di terremoti a sismicità medio-bassa nell'area di Potenza.

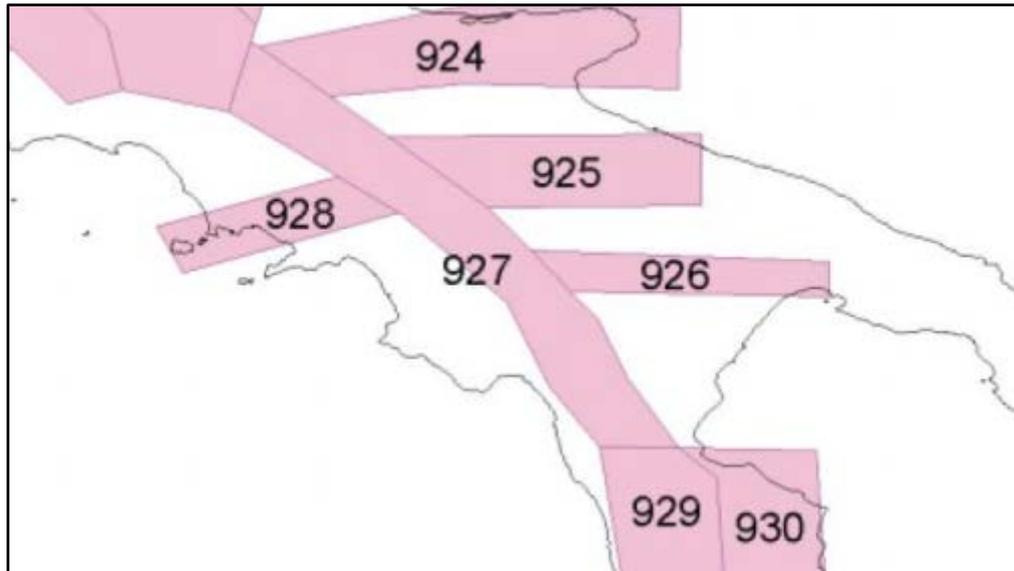


Fig. 41 – Zonazione sismogenetica ZS9 dell'Appennino Meridionale

L'area di studio è prossima alla **Zona 928**. La *profondità efficace*, vale a dire quella profondità alla quale avviene il maggior numero di terremoti che determina la pericolosità della zona, utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione determinate su base regionale, per la zona 928 è di 3 Km (Fig. 42).

Il *meccanismo di fagliazione* prevalente per la zona 928, dove per meccanismo prevalente si intende quello che ha la massima probabilità di caratterizzare i futuri terremoti significativi, è di tipo diretto (Fig. 43).

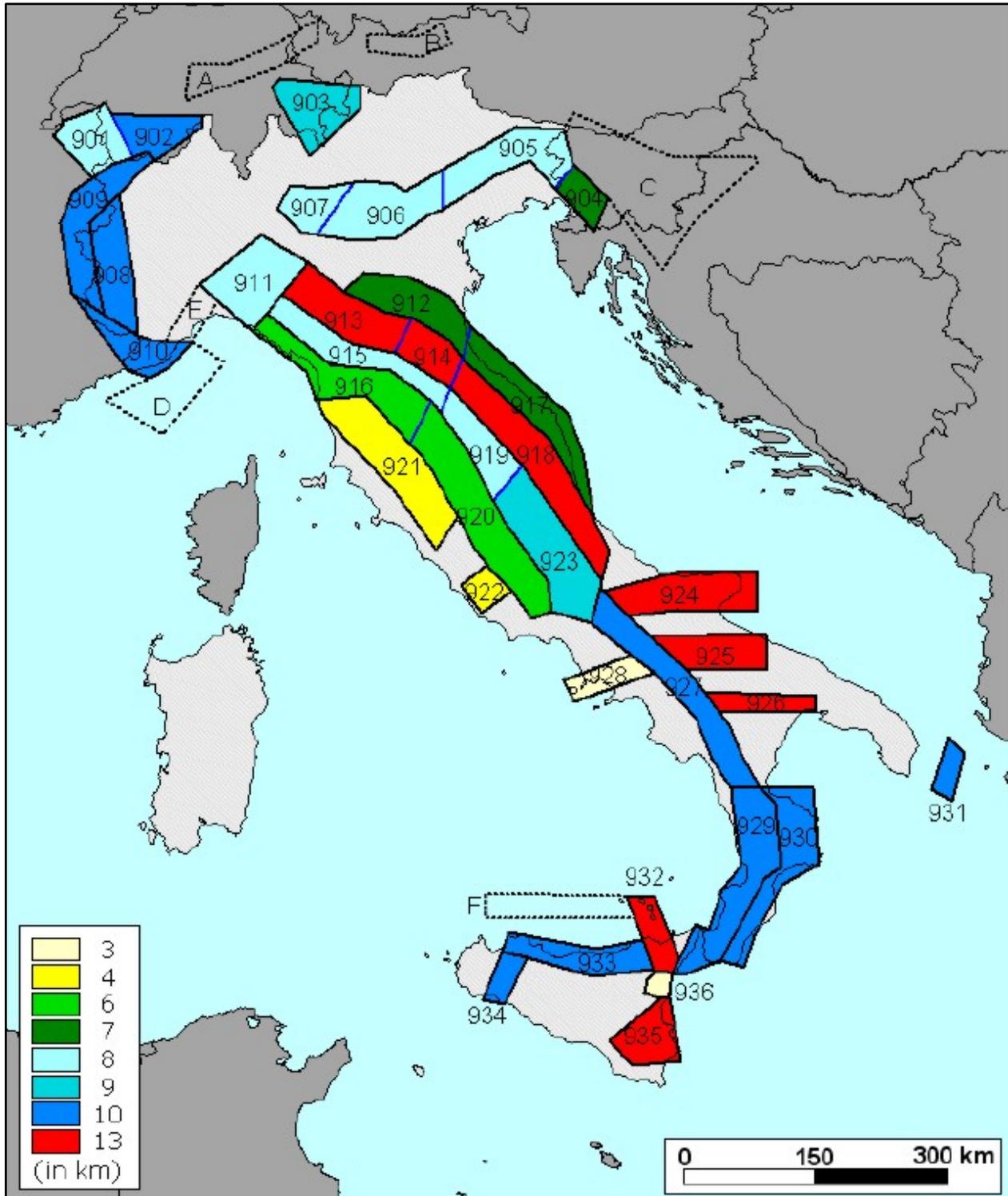


Fig. 42 – Moda delle distribuzioni di frequenza in funzione della profondità dei terremoti riportati nel catalogo strumentale INGV (1983-2002) per tutte le ZS di ZS9

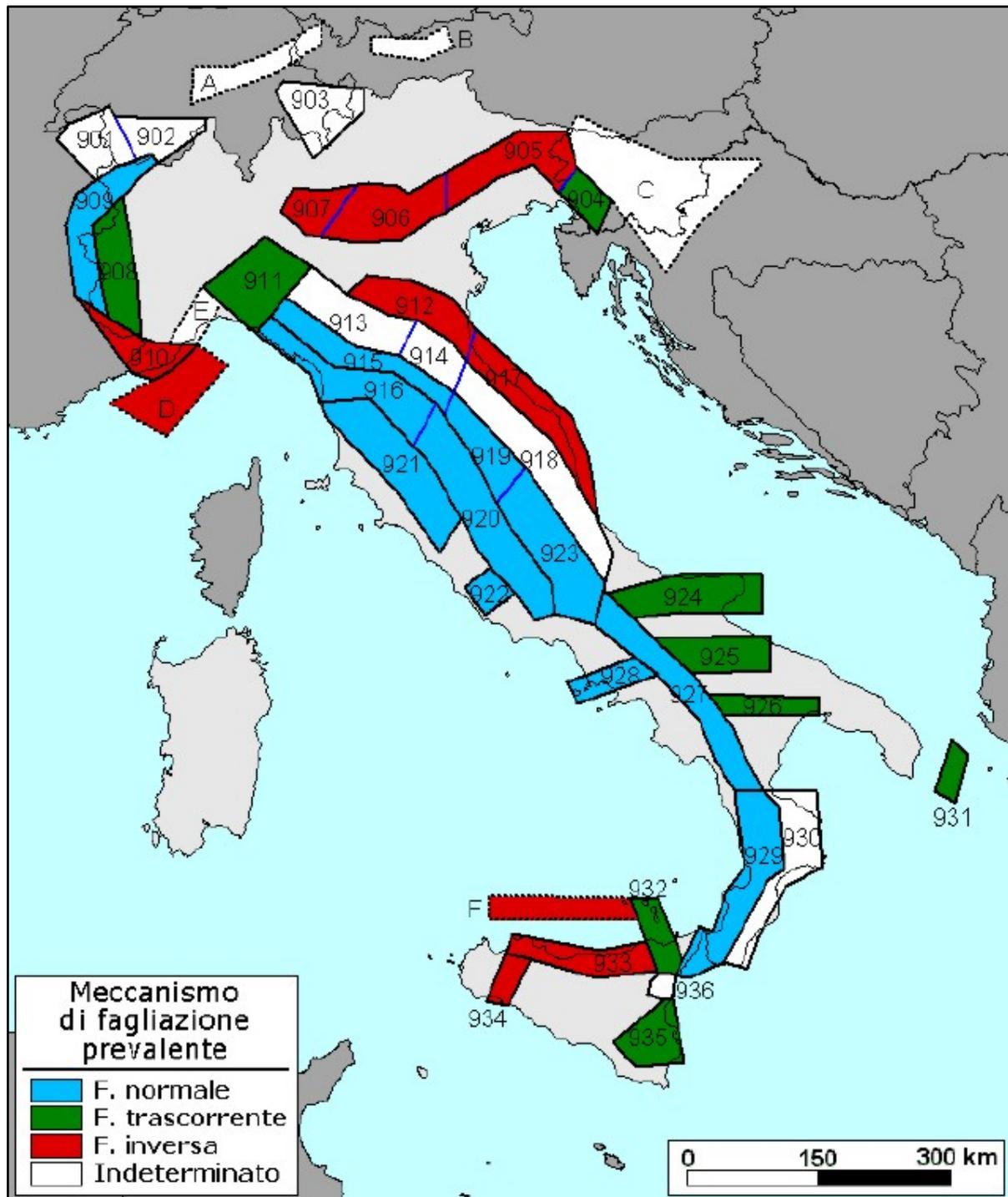


Fig. 43 – Meccanismo di fagliazione prevalente atteso per le diverse zone sismogenetiche che compongono ZS9.

## 7.2 Sismicità della Campania

La Campania è parte di un sistema geodinamico complesso, attualmente dominato da estensione orientata in direzione NE-SO (Hippolyte et alii, 1994). Le principali faglie attive dell'area sono localizzate lungo gli Appennini, con orientazione parallela alla catena (NO-SE) e lunghezza fino a qualche decina di chilometri (Valensise & Pantosti, 2001).

La regione è soggetta a un elevato tasso di sismicità, tra i più alti nel territorio nazionale, che è concentrata principalmente nella zona appenninica e nell'area vulcanica napoletana (Vesuvio, Campi Flegrei, Ischia).

La più recente zonazione sismogenetica ZS9 (Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica, 2004) individua in Campania due zone. La prima include gli eventi appenninici caratterizzati dal massimo rilascio di energia legata alla distensione generalizzata dell'Appennino meridionale (zona 927), mentre la seconda, allungata in direzione approssimativamente OSO-ENE, comprende tutta l'area vulcanica napoletana e si estende verso oriente fino alle falde appenniniche (zona 928). Quest'ultima racchiude anche la sismicità della fascia costiera tirrenica, tipicamente di intensità minore rispetto a quella localizzata in catena.

In entrambe le zone, il meccanismo prevalente di fagliazione è normale, mentre l'intervallo di profondità nel quale è localizzato il maggior numero di terremoti è significativamente diverso, con gli eventi dell'area appenninica che avvengono maggiormente tra 8 e 10 km e quelli dell'area vulcanica napoletana localizzati per lo più tra 1 e 5 km. Negli ultimi mille anni in Campania e nelle aree limitrofe si sono verificati diversi forti terremoti.

Tutti questi eventi sono avvenuti in area appenninica o in altre zone sismogenetiche più distanti. Tra questi terremoti, due in particolare (1456, 1688) hanno raggiunto un'intensità pari all'VIII grado della scala Mercalli, causando notevoli danni agli edifici (Fig. 44).

Negli ultimi decenni, l'area di studio ha prevalentemente risentito di effetti dovuti all'attivazione di sorgenti nelle zone appenniniche, dove la sismicità recente è prevalentemente diffusa nella zona compresa tra bassa Irpinia e Basilicata e, più a nord, in quella tra Sannio e Molise.

La mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (la cui versione più recente è pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n. 108 del 11.5.2006), basata prevalentemente sulla determinazione dei tassi di sismicità e sullo studio delle leggi di attenuazione del moto del suolo, prevede per l'area avellinese un'accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi ( $V_S=800$  m/s), dell'ordine di 0.150-0.175 g.

La classificazione sismica elaborata sulla base di questi risultati e sancita da Deliberazioni della Giunta Regionale (n° 5446-447 del 7.11.2002, n° 248 del 24.1.2003, n° 816 del 10.6.2004), prevede per molti comuni, tra cui quello di **Forino**, l'appartenenza alla **Classe 2 (media sismicità)**. Rispetto alla precedente, l'attuale classificazione non presenta variazione della classe di sismicità (2 - media sismicità).

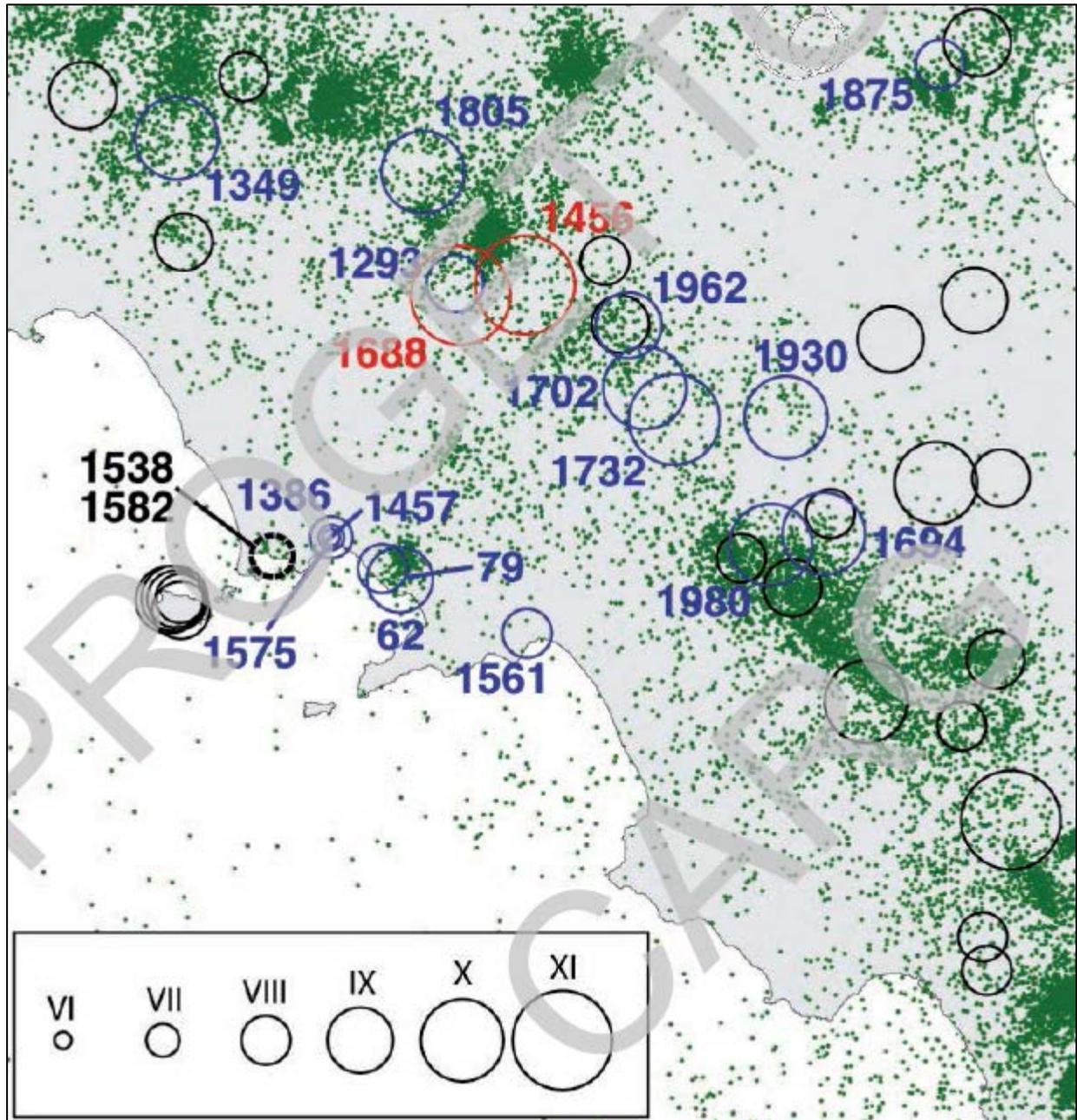


Fig. 44 – Sismicità storica (cerchi), secondo i dati riportati nei cataloghi CPTI04 (Gruppo di lavoro CPTI, 2004) e CPTI11 (ROVIDA et alii, 2011), e sismicità strumentale per il periodo 1981-2011 (punti), basata sul catalogo dell'INGV per il periodo 1981-2002 (<http://csi.rm.ingv.it/>) e sul bollettino sismico dello stesso istituto (<http://bollettinosismico.rm.ingv.it/>). La mappa riporta gli eventi storici con intensità alla sorgente 10 maggiore o uguale all'ottavo grado e, comunque, quelli che hanno prodotto un risentimento a Napoli uguale o superiore al VI grado (cerchi blu). In rosso sono indicati quelli che a Napoli sono stati risentiti con un grado uguale o maggiore all'ottavo. I due eventi dei Campi Flegrei (1538, 1582), entrambi con 10 VII-VIII, hanno prodotto risentimenti prevalentemente locali, sono indicati dal cerchio tratteggiato.

## 8. Sismicità storica del territorio comunale di Forino

I settori appenninici campani, tra i quali l'area dell'alta Irpinia, rappresentano zone ad elevato rischio sismico nell'ambito delle quali, nel corso dei secoli, si sono risentiti gli effetti di numerosi terremoti anche di notevole intensità.

Come osservabile nella figura successiva (Fig. 45), l'alta Irpinia è immediatamente ai margini di aree sismogeneticamente attive. La storia sismica dell'area è riportata nel catalogo parametrico dei terremoti italiani (Postpischl, 1985; CPTI/99 e successive modifiche).

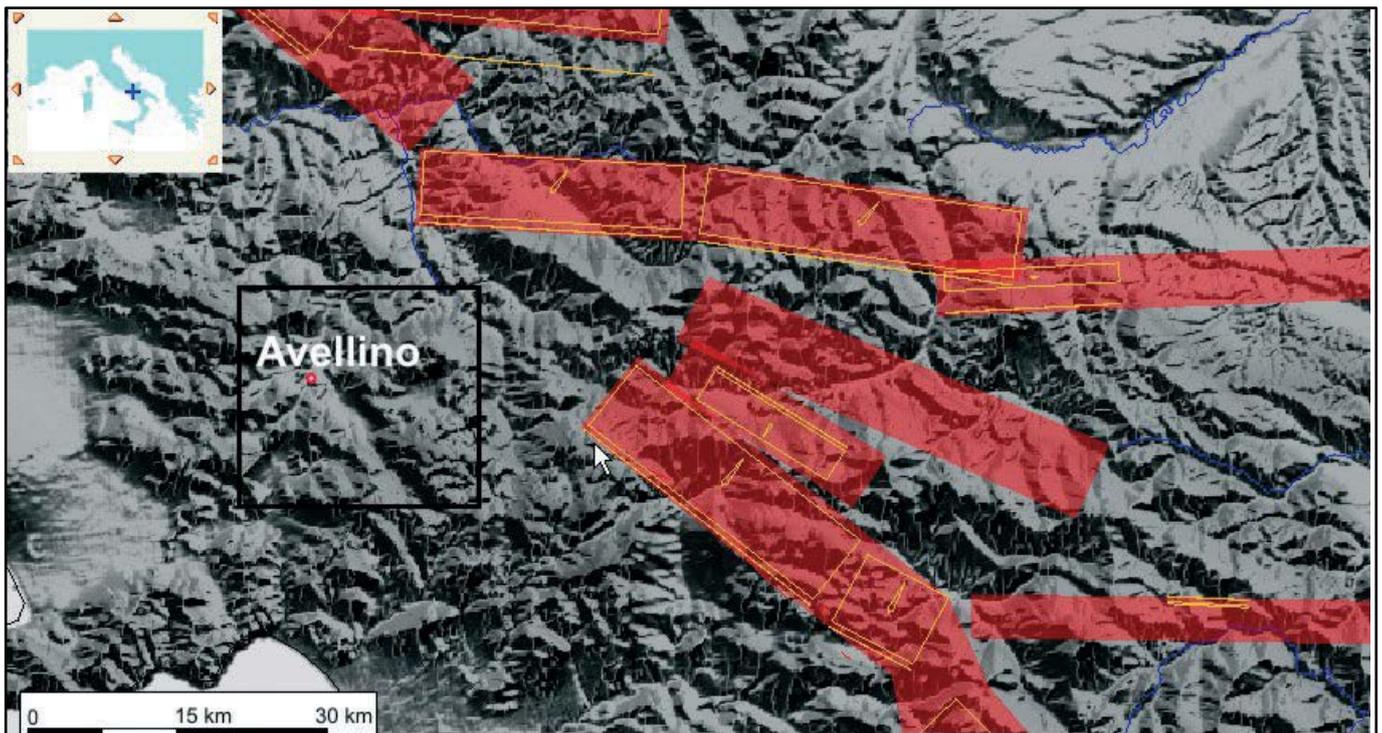


Fig. 45 - Sorgenti sismogenetiche di Magnitudo > 5.5 nell'area dell'Appennino Meridionale ([www.ingv.it](http://www.ingv.it)).

La causa di tale attività sismica è da ricercare nell'evoluzione neotettonica che si manifesta con un generale sollevamento in corrispondenza delle aree ove sono presenti sistemi di faglie con direzione NO-SE, NE-SO, E-O, NNO-SSE (Ciaranfi et alii, 1983). Gli studi svolti sui meccanismi focali (Ciaranfi et alii, 1983; Gasparini et alii, 1985) indicano una prevalenza dei movimenti lungo faglie normali, orientate parallelamente alla Catena appenninica, e lungo faglie trascorrenti con direzione antiappenninica (NE-SO). Nell'area irpina prevale un regime di sforzi normali. Dai dati disponibili risulta che l'attività sismica è connessa prevalentemente a strutture sismogenetiche con andamento appenninico (NO-SE) ubicate in una fascia larga diversi chilometri compresa tra la Baronia e i Monti Picentini. L'evento sismico che si è verificato in Irpinia nel novembre del 1980 (Alessio et alii, 1988), e gli eventi verificatisi successivamente (1982-1987), per i quali sono disponibili una grande quantità di dati geofisici e geologici, confermano tali assunzioni.

L'epicentro dell'evento del 1980 ricade presso l'abitato di Laviano, poco ad est di Forino. La principale struttura sismogenetica che lo ha prodotto è rappresentata da una faglia normale, orientata in direzione appenninica, che ha determinato come effetto l'ulteriore abbassamento

relativo del blocco nord-orientale. La faglia, con direzione media  $315^\circ$  e inclinazione  $60^\circ$ - $70^\circ$  verso nord-est, ha infatti provocato la formazione in superficie di una scarpata di faglia per una lunghezza complessiva di circa 35 chilometri ed un rigetto verticale variabile tra 0,40 e 1 metro. La scarpata, seppur in maniera discontinua, è stata seguita dalle pendici del Monte Caravella a N-O fino alla Piana di San Gregorio Magno a S-E (Funicello et alii, 1988).

In Porfido et alii (2007) sono riportati gli effetti indotti dai principali eventi sismici, quali fagliazione superficiale, frane, fenomeni di liquefazione e formazione di vulcanelli di fango, (cfr. ISPRA Progetto Sinkhole <http://sgi.isprambiente.it/sinkhole>). Come detto l'area di studio ricade in una fascia ove prevalgono meccanismi di rottura attesi di tipo dip-slip e subordinatamente strikeslip (Scandone & Stucchi, 2000). Nello specifico la zonazione sismogenetica (Scandone & Stucchi, 2000) evidenzia che il settore appenninico d'interesse ricade nelle zone 57 e 63 comprendenti il settore assiale della Catena Appenninica. Questo settore è caratterizzato dal massimo rilascio di energia legata alla distensione che, da circa 0.7 ma, interessa l'Appennino meridionale. Il meccanismo di fagliazione individuato di tipo normale con profondità ipocentrali comprese tra gli 8 e 12 km (Scandone & Stucchi, 2000). La carta della pericolosità sismica, di cui si riporta uno stralcio (Fig. 46), evidenzia che per l'area in esame sono state definite sei fasce caratterizzate da un'accelerazione massima variabile tra 0.125 g e 0.275 g.

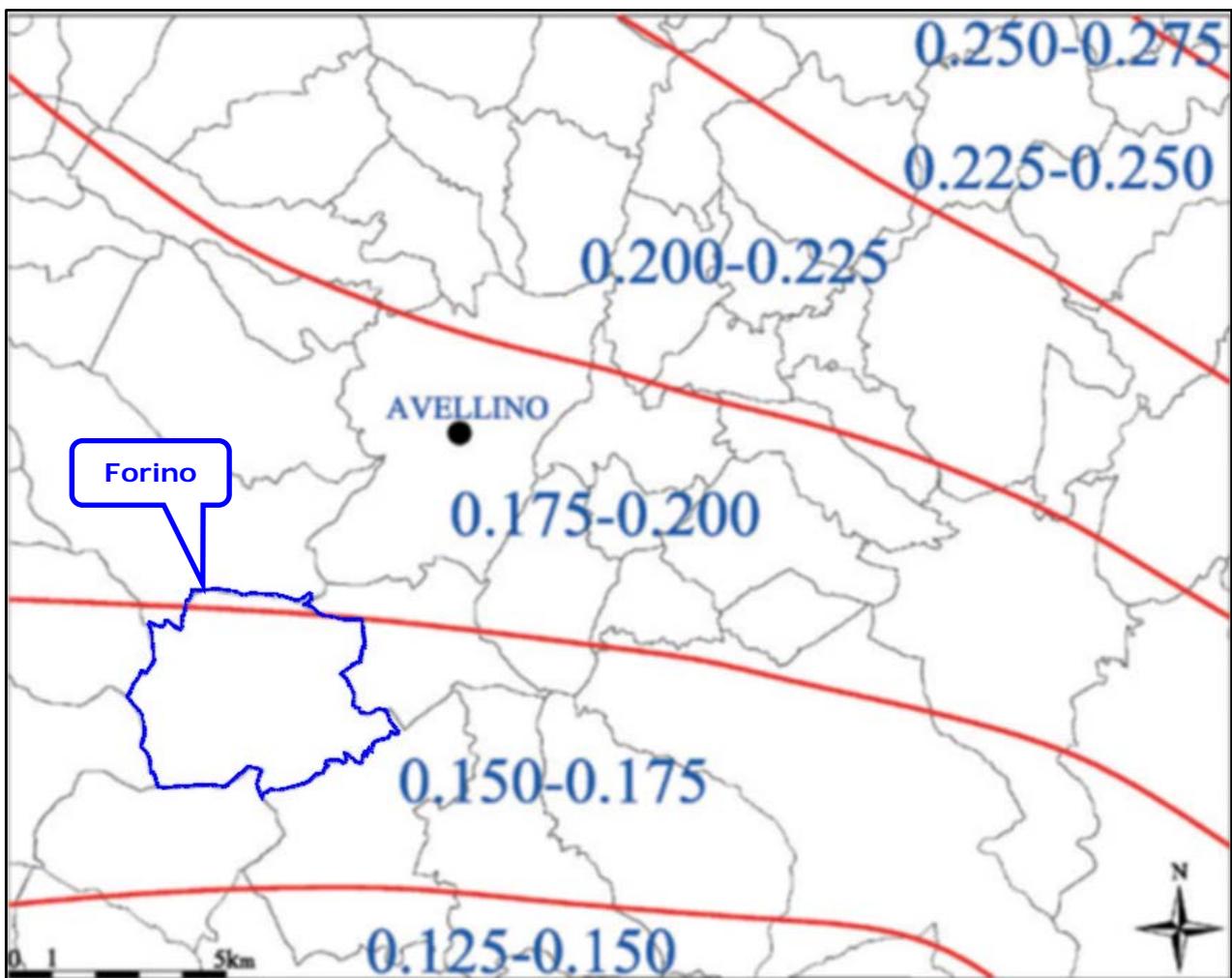


Fig. 46 - Distribuzione delle accelerazioni massime sul suolo (AA.VV., INGV, 2004 mod.).

Per una prima valutazione del grado sismicità, si è riportata l'analisi dei dati relativi ai terremoti più violenti e significativi che hanno direttamente interessato il territorio comunale di Fisciano e le zone ad esso vicine. I testi consultati a tal fine sono stati seguenti:

- L. Serva: il terremoto del 1688 nel Sannio;
- L. Serva: Il terremoto del 1694 in Irpinia e Basilicata;
- G. Magri e D. Molin: Attività macrosismica in Basilicata, in Campania e Puglia dal 1847 al 1861.
- A. Ilario: la provincia di Napoli - Num. Spec. 80.

Considerato il fine della ricerca vengono in seguito riportate soltanto le citazioni più significative. Il terremoto del 1688 che interessò violentemente la zona di Benevento, provocando gravissimi danni fino all'area di Avellino e di Serino, manifestò i suoi effetti in modo meno disastroso, ma pur sempre di notevole entità, anche più a Sud ed almeno fino a Cava dei Tirreni ed a Salerno. Anche se i testi non citano direttamente l'area di studio, considerando che l'ipocentro del terremoto del 1688 era situato nella zona di Benevento e alla luce degli effetti registratisi in questa area in seguito al sisma del 23.11.80, si può sostenere che anche il territorio comunale di *Forino* abbia subito un forte scuotimento con danni alle abitazioni simili a quelli provocati dal sisma del 1980. Il terremoto del 1694 provocò ingenti danni su tutta una vasta area coincidente con quella interessata dal sisma del 23.11.80.

Da quanto sopra esposto, può rilevarsi che i danni ricostruiti per il sisma del 1694 sono assimilabili a quelli provocati dal terremoto del 1980.

Tale raccolta sintetica di notizie storiche sugli effetti provocati a Fisciano dai più significativi e violenti movimenti tellurici che hanno interessato l'Appennino campano-lucano, mette in luce che i sismi che hanno colpito con maggiore violenza il territorio comunale sono stati quelli del 1980 e del 1684, caratterizzati dalla stessa area epicentrale, e quello del 1688, con epicentro nella zona di Benevento. La forza massima che finora, quindi, ha interessato l'area di Fisciano è assimilabile a quella dei sismi del 1694 e del 23.11.1980.

Recenti ricerche sull'evoluzione neotettonica della catena appenninica hanno messo in evidenza che questa è distinguibile, nei riguardi della sismicità, in due fasce orientate NW-SE. La fascia occidentale, comprendente l'area tra la linea di costa tirrenica ed il margine orientale delle rocce calcaree lungo l'allineamento segnato dalle alte valli dei fiumi Agri e Malandro, lo scalo di Muro Lucano – Biella, alta valle del Sele, Ofanto e Calore, Benevento e Matese Orientale (valle di Boiano) è stata caratterizzata da fenomeni di assestamento definitivo risalenti a circa 800.000 anni e pertanto, può ritenersi ormai stabilizzata.

Invece la fascia centro-orientale della catena ed il bordo orientale dei rilievi calcarei, è stata caratterizzata da intensi e recenti sollevamenti non ancora del tutto esauriti. Questa seconda fascia, quindi, risulta ancora instabile e tende tuttora a sollevarsi lentamente in seguito ad assestamenti delle masse profonde fino a 30-35 Km. Essa, ampia da 25 a 35 km, è delimitata in

profondità da importanti faglie lungo le quali avvengono gli scorrimenti relativi tra le rocce ad Ovest e ad Est che rimangono relativamente stabili e la parte di rocce che tende a sollevarsi.

In corrispondenza di tali faglie profonde perimetrali, non riconoscibili direttamente in superficie, avvengono gli attriti principali e quindi i terremoti più disastrosi che periodicamente colpiscono sempre le stesse aree. Esse presentano un allineamento lungo due direttrici NW-SE, ampie alcuni km: quella occidentale è ben delineabile dalle valli Agri e Melandro, Scalo di Muro Lucano – Bella, alte valli del Sele, Ofanto e Calore, zona di Benevento e valle di Boiano, lungo le quali si sono originati, tra gli altri, i violenti sismi del 1688, 1694, 1805, 1853, 1857, 1980; quella orientale è definibile da Melfi, Bisaccia, margine orientale della Baronia e zona di Ariano Irpino ed ha dato luogo, tra gli altri, ai sismi del 1851, 1930 e 1962.

Ciò detto, risulta che le strutture sismogenetiche più vicine all'area di studio sono quelle ubicate lungo la prima fascia, con il tratto più prossimo compreso tra le alte valli del Sele, Ofanto, Calore e Benevento, lungo il quale si sono originati i sismi del 1688, 1694 e 1980.

Ulteriori importanti strutture sismogenetiche più prossime al territorio di Fisciano non se ne conoscono e pertanto è possibile dedurre che la forza massima che può interessare il territorio indagato è pari a quella dei sismi del 1694 e del 1980; peraltro tale considerazione è direttamente confermata dall'analisi storica dei terremoti verificatisi in passato, a cui sopra si è accennato.

Dall'analisi della distribuzione degli eventi tellurici citati si nota come la provincia di Salerno risente della sismicità storica originatasi all'interno delle zone sismogenetiche presenti nella catena appenninica, disposte lungo una fascia orientata NW-SE, comprendente parte delle regioni Molise, Campania e Basilicata. Questa fascia è definita dalla distribuzione degli epicentri dei terremoti sia storici che recenti. Gli addensamenti degli epicentri, le modalità di rilascio energetico in correlazione con l'assetto geologico-strutturale, permettono di individuare aree sismogenetiche a diverso comportamento sismico.

Per tale motivo sono state identificate quattro aree sismogenetiche principali in cui vengono successivamente riconosciute le strutture sismogenetiche attive (Alessio et al., 1993).

L'analisi della distribuzione degli effetti prodotti dai terremoti con intensità maggiore dell'VIII grado **MCS** (*Mercalli-Cancani-Sieberg*), a partire dal XV secolo fino al terremoto del 1980 (terremoto dicembre 1456; 5 giugno 1688; 8 settembre 1694; 26 luglio 1805; 23 luglio 1930; 21 agosto 1962; 23 novembre 1980), ha evidenziato che gran parte della provincia di Salerno ha subito un danneggiamento valutabile tra il VII e il X grado della scala MCS degli effetti dei terremoti con epicentro nell'Irpinia e nella Lucania, mentre nel Cilento l'intensità non ha superato il VI grado MCS (Esposito et al., 1992).

In termini di massima intensità macrosismica avvertibile in seguito ad eventi sismici, la zona di studio risente gli effetti in forma piuttosto accentuata, come è confermato dai campi macrosismici dei maggiori eventi storici per i quali nell'area di studio è stato registrato l'8° grado della scala MCS. Tale valore è in accordo con l'intensità dei terremoti registrata a *Forino*, evidenziata dalla storia sismica e dai cataloghi di terremoti consultati.

Appare, pertanto, che il **9° grado MCS** può essere considerato come il massimo grado di danneggiamento per il Comune di *Forino* (Fig. 47).

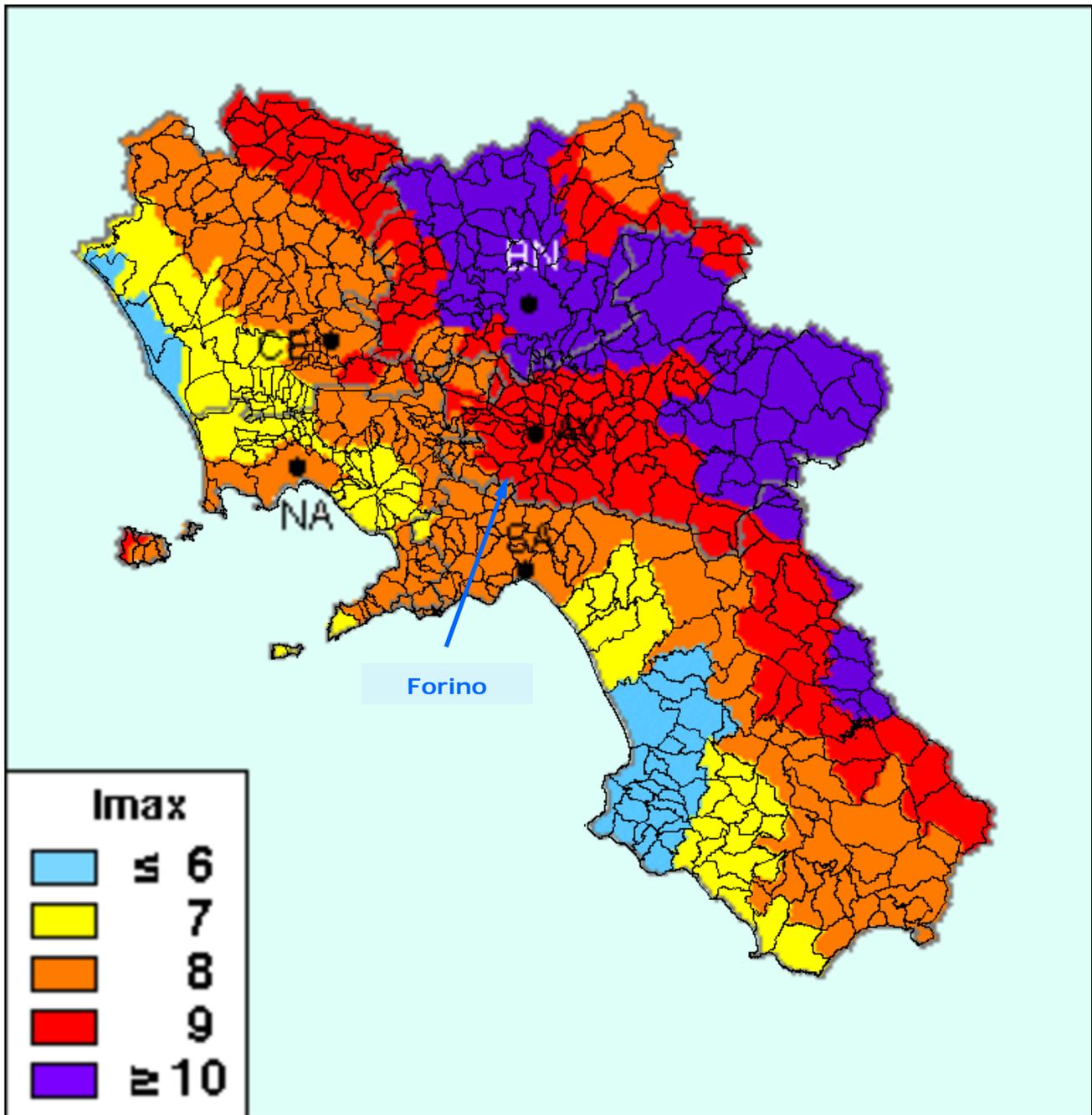


Fig. 47 – Massime intensità macrosismiche in Campania

Il **Database Macrosismico Italiano** permette di visionare la storia sismica delle località italiane. La versione **DBMI 15** è stato realizzato nell'ambito della linea di attività INGV T3 "Pericolosità sismica e contributi alla definizione del rischio" e quale contributo alle attività dell'Allegato A dell'Accordo quadro INGV-DPC 2012-2021.

La versione 2015 del **Database Macrosismico Italiano (DBMI 15)**, è consultabile liberamente all'indirizzo <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15>.

L'utilizzo, anche parziale, del database è consentito a condizione che la fonte sia sempre citata come segue: *Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi: <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>.*

L'ultima versione del Database Macrosismico Italiano chiamata DBMI15 è stata rilasciata a luglio 2016 e aggiorna e sostituisce la precedente, DBMI11 (Locati et al., 2011). DBMI fornisce un set di dati di intensità macrosismica relativo ai terremoti italiani nella finestra temporale 1000-2014. I dati provengono da studi di autori ed enti diversi, sia italiani che di paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia). I dati di intensità macrosismica (MDP, Macroseismic Data Point) sono raccolti e organizzati da DBMI per diverse finalità. La principale è fornire una base di dati per la determinazione dei parametri epicentrali dei terremoti (localizzazione e stima di magnitudo) per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI). L'insieme di questi dati consente inoltre di elaborare le "storie sismiche" di migliaia di località italiane, vale a dire l'elenco degli effetti di avvertimento o di danno, espressi in termini di gradi di intensità, osservati nel corso del tempo a causa di terremoti. DBMI15 contiene 122701 dati di intensità relativi a 3212 terremoti.

La storia sismica del Comune di *Forino* è di seguito riportata (Figg. 48-49-50).

## Forino

PlaceID	IT_60707
Coordinate (lat, lon)	40.861, 14.738
Comune (ISTAT 2015)	Forino
Provincia	Avellino
Regione	Campania
Numero di eventi riportati	17



Fig. 48 – Storia sismica del Comune di Forino

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
7	1694	09	08	11	40		Irpinia-Basilicata	251	10	6.73
7-8	1732	11	29	07	40		Irpinia	183	10-11	6.75
6-7	1805	07	26	21			Molise	220	10	6.68
7	1930	07	23	00	08		Irpinia	547	10	6.67
4	1948	08	18	21	12	20	Gargano	58	7-8	5.55
4	1978	02	08	04	10	29	Irpinia	100	5-6	4.44
7	1980	11	23	18	34	52	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81
6-7	1981	02	14	17	27	45	Monti di Avella	85	7-8	4.88
4	1984	05	07	17	50		Monti della Meta	911	8	5.86
4-5	1990	05	05	07	21	2	Potentino	1375		5.77
4	1991	05	26	12	25	5	Potentino	597	7	5.08
4-5	1996	04	03	13	04	3	Irpinia	557	6	4.90
3	1997	03	19	23	10	5	Sannio-Matese	284	6	4.52
4	2002	11	01	15	09	0	Molise	638	7	5.72
3	2003	06	01	15	45	1	Molise	501	5	4.44
NF	2003	12	30	05	31	3	Molise	326	4-5	4.53
3-4	2005	05	21	19	55	19	Area Nolana	271	5	4.07

Fig. 49 – Storia sismica del Comune di Forino

dove:

Int. = Intensità al sito (scala MCS); NMDP = Numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; Io = Intensità massima (scala MCS); Mw = Magnitudo momento

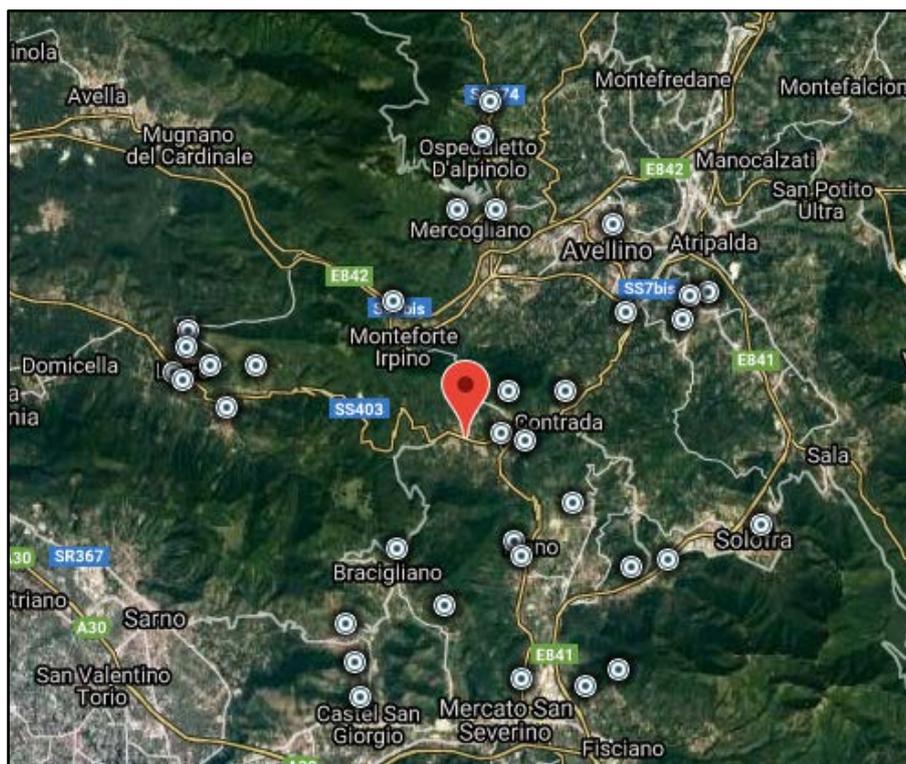


Fig. 50 – Maggiori terremoti registrati nelle località vicine al Comune di Forino

## 8.1 Classificazione sismica di Forino

A livello normativo, il problema del rischio sismico viene affrontato in modo organico con la legge n. 64 del 2 febbraio 1974 "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche", in cui si prevedeva l'aggiornamento periodico della classificazione e delle norme tecniche costruttive in funzione di nuove conoscenze sulla genesi e sull'azione dinamica esercitata sulle strutture dall'azione sismica.

Ai sensi della L. 64/74 i comuni dichiarati sismici venivano classificati mediante decreti legislativi con i quali ad essi veniva assegnato un grado di sismicità "S" (6,9,12) a seconda dell'intensità macrosismica. Dal grado di sismicità S, successivamente si determinava semplicemente il coefficiente di intensità sismica "C", inteso come percentuale dell'accelerazione di gravità g, mediante la formula  $C = (S - 2)/100$  (Fig. 51).

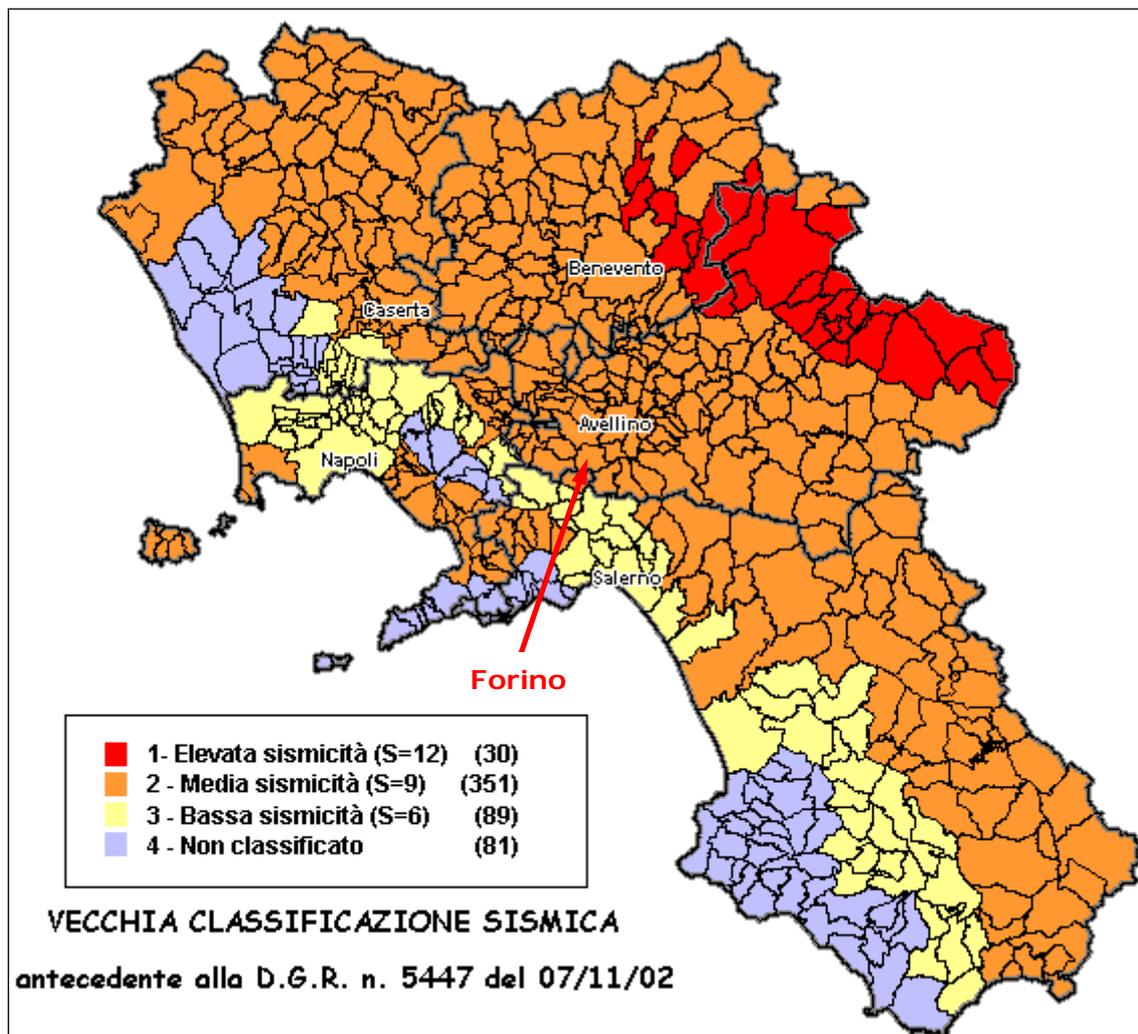


Fig. 51 – Vecchia classificazione sismica della Regione Campania

In seguito al terremoto dell'Irpinia del 23 novembre 1980, che evidenziò le errate scelte urbanistiche fino ad allora operate in chiave di protezione sismica, si rese necessario imporre norme più restrittive per l'adeguamento degli strumenti urbanistici generali e particolareggiati vigenti.

In tal senso, la Legge n.741 del 10 dicembre 1981 oltre a stabilire i criteri per la formazione degli strumenti urbanistici ai fini della prevenzione del rischio sismico, determinava la delega alle Regioni (art. 20) per l'emanazione delle suddette norme, che in Campania trovò nella **Legge Regionale 9/83** una delle prime norme a livello locale che introducevano i criteri e le indagini per la redazione di mappe di Microzonazione comunale, per le progettazioni urbanistiche a carattere generale, e di Caratterizzazione sismica dei siti, per le progettazioni esecutive, nei comuni dichiarati sismici.

A seguito dei recenti eventi sismici (terremoto dell'Appennino umbro-marchigiano del 1998, terremoto del Molise del 2002), il legislatore ha emanato nel 2003 nuove norme antisismiche, introdotte con l'**Ordinanza n. 3274** del Presidente del Consiglio dei Ministri in data 20 marzo 2003 "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*".

In anticipo rispetto alla normativa nazionale, la Regione Campania ha adottato, con **D.G.R. 5447 del 7 novembre 2002**, la nuova classificazione sismica del territorio regionale formulata dal gruppo di lavoro costituito da esperti del Servizio Sismico Nazionale, dell'Istituto Nazionale di Geofisica e del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, in base alla risoluzione approvata dalla Commissione Nazionale di Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi nella seduta del 23 aprile 1997 e le risultanze relative ai comuni della Campania (Fig. 52).

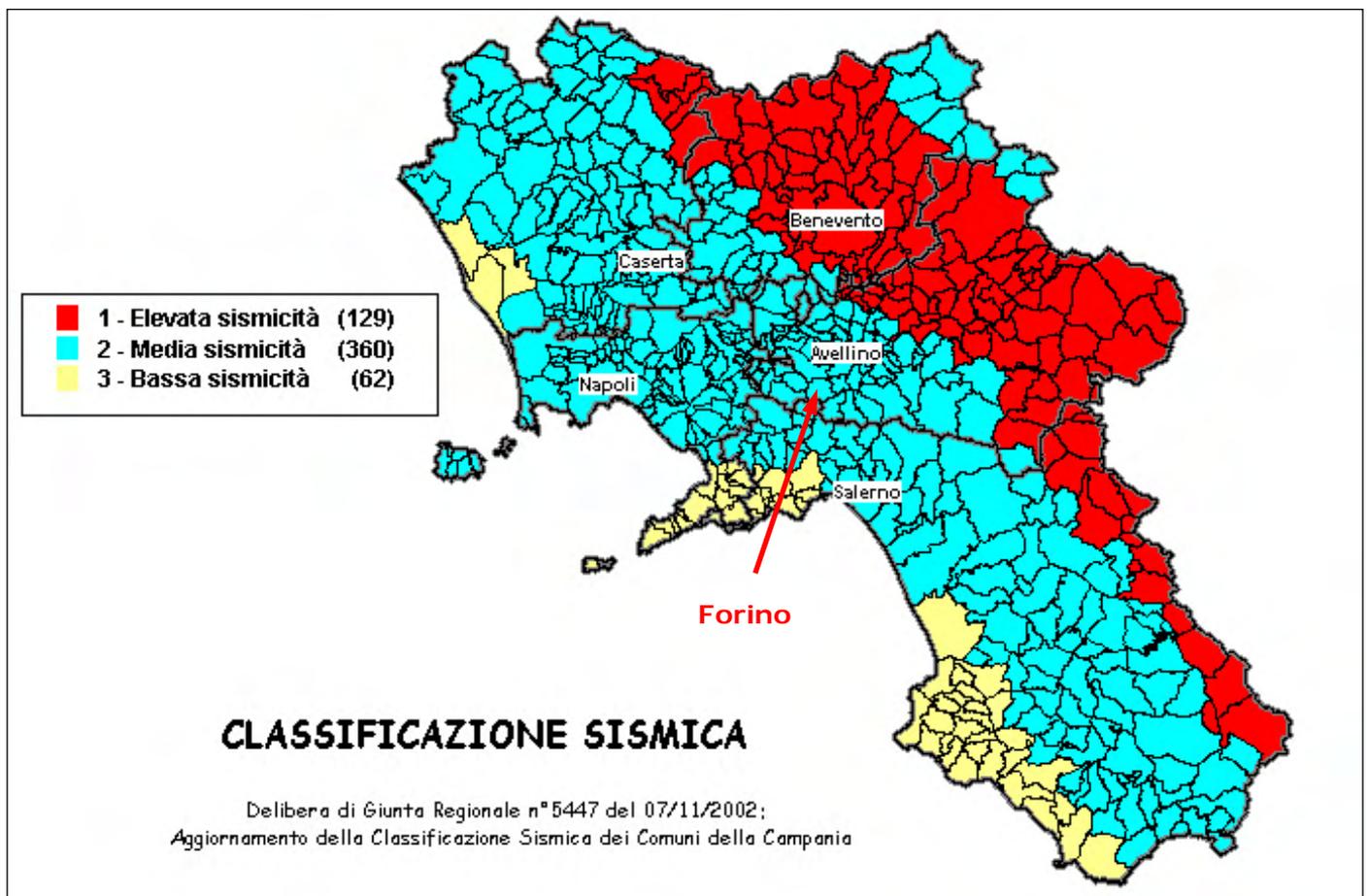


Fig. 52 – Nuova classificazione sismica del 2002 dei comuni della Regione Campania.

Zona 1, valore di  $ag=0.35g$ ; Zona 2, valore di  $ag=0.25g$ ; Zona 3, valore di  $ag=0.15g$ .

In seguito a tale risoluzione, la classificazione sismica del territorio nazionale passa da tre a quattro categorie. In Campania i comuni classificati di *classe 1* (corrispondente ad un grado di sismicità  $S = 12$ ) passano da 30 a 131, con 101 comuni che passano dalla ex 2a categoria alla classe 1; *quelli di classe 2* ( $S = 9$ ) passano da 351 a 365, di cui 86 comuni della ex 3a categoria e 29 non classificati; quelli di *classe 3* passano da 89 a 55, di cui 52 comuni non classificati ai sensi della precedente classificazione (Figg. 53-54).

Pertanto il Comune di **Forino**, ai sensi della normativa vigente, è classificato a rischio sismico e rientra nella **zona 2** (*media sismicità*).

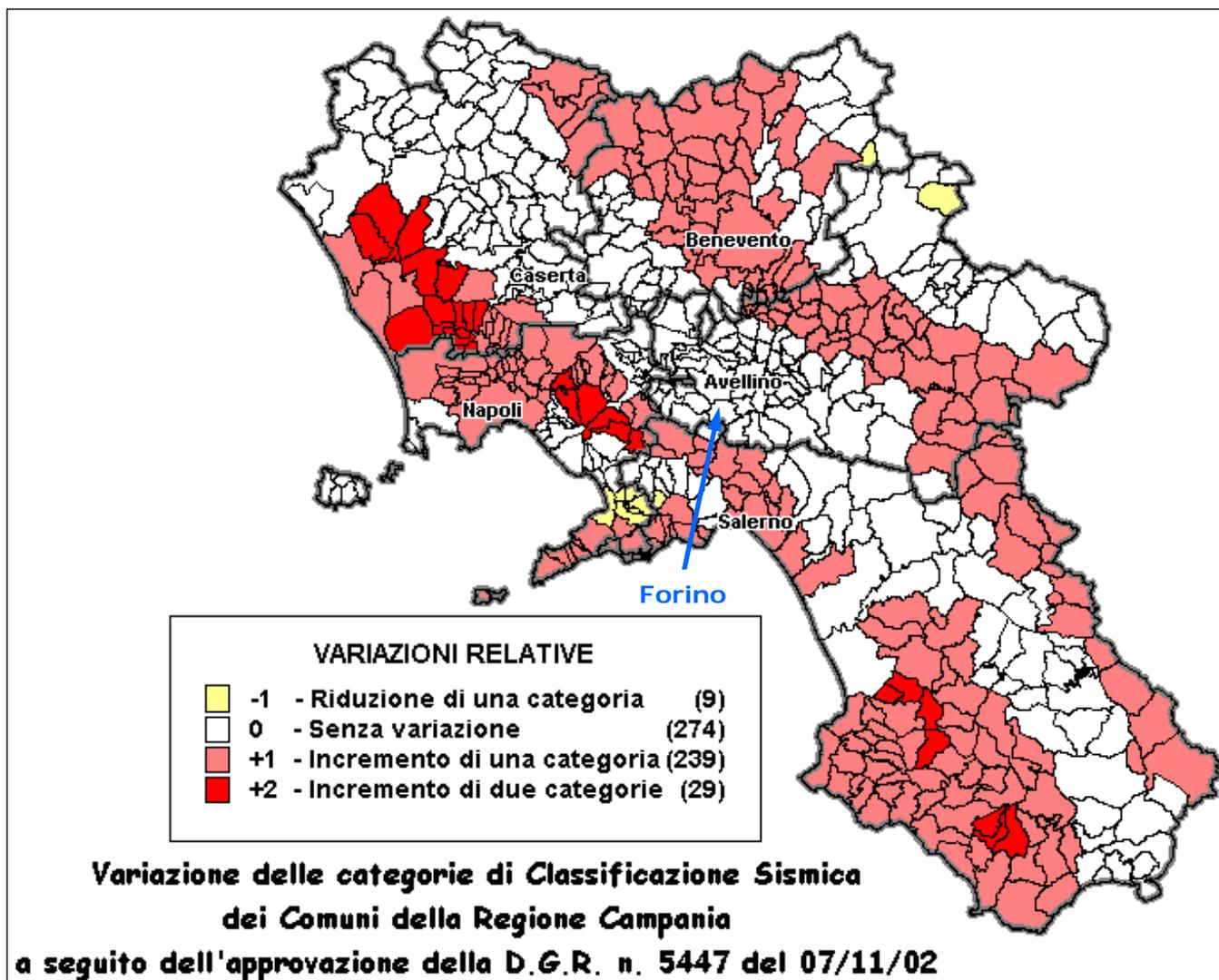


Fig. 53 – Variazione delle categorie di classificazione sismica dei Comuni della Regione Campania

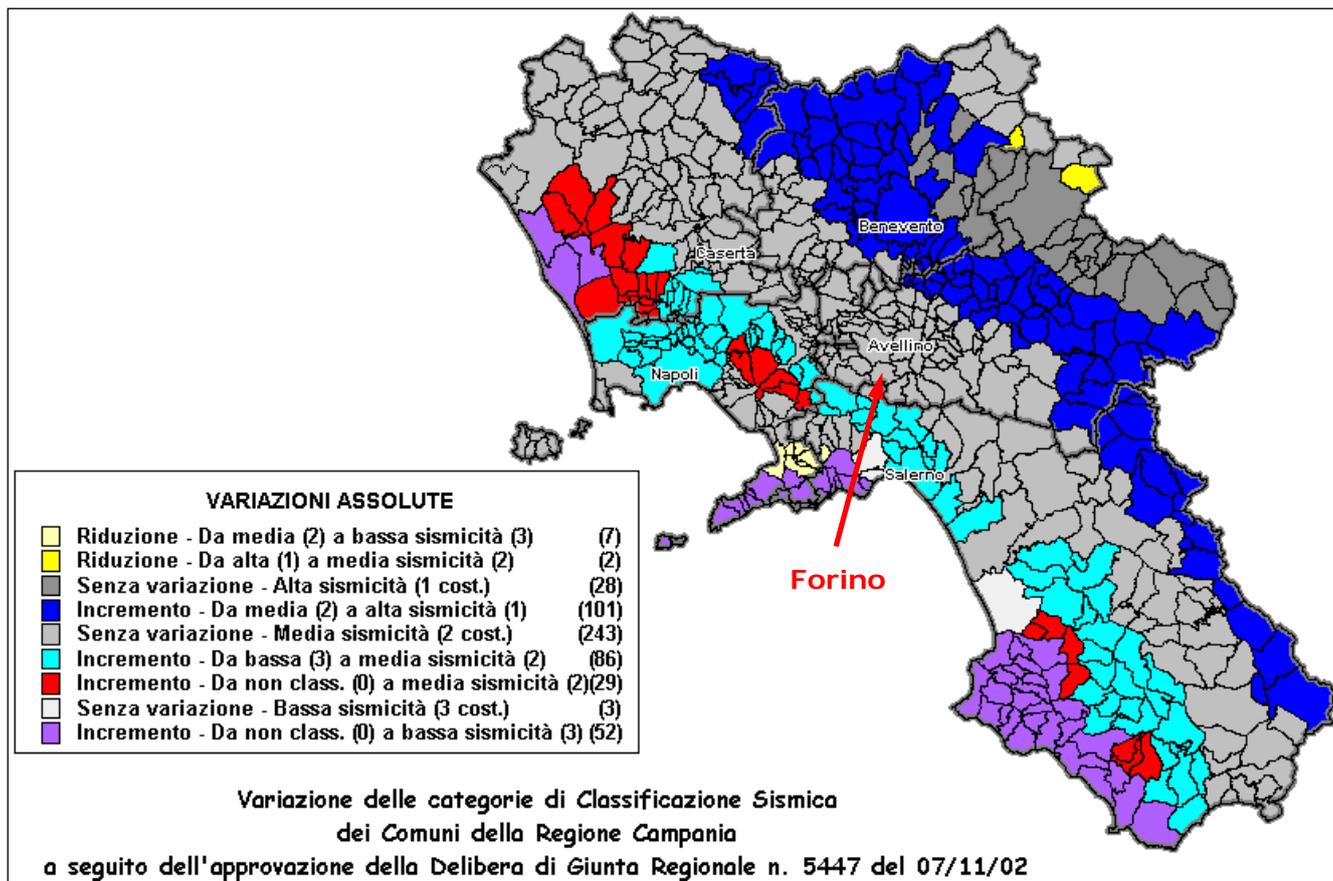


Fig. 54 – Variazione delle categorie di classificazione sismica dei Comuni della Regione Campania

Con l'entrata in vigore dell'O.P.C.M. 3274/03 è cambiato il livello energetico attribuito alle classi sismiche, per cui la "Pericolosità Sismica", espressa come intensità sismica in termini di accelerazione al suolo ( $ag/g$ ), mette in luce nuovi valori di riferimento, notevolmente superiori rispetto a quelli precedentemente vigenti. Nella seguente tabella è evidenziata la variazione di intensità sismica in termini di  $ag/g$ , a parità di classe sismica a scala nazionale (Gruppo di Lavoro MPS, 2001; 2004). La Regione Campania ha anticipato l'entrata in vigore dell'O.P.C.M. 3274/03 con la classificazione del territorio attuata dalla DGRC 5447/02.

Classificazione Sismica (O.P.C.M. 3274/03)	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni $ag/g$	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) $ag/g$	Classificazione Sismica (D.M. 19/01/96)	Coefficiente Sismico (S)
1	>0,25	0,35	1	0,1
2	0,15 - 0,25	0,25	2	0,09
3	0,05 - 0,15	0,15	3	0,06
4	<0,05	0,05	4	0

Tab. 2 – Variazione di intensità sismica in termini di  $ag/g$

Dall'applicazione della nuova normativa regionale (D.G.R.C. 248 del 24/01/2003; G.R.C. prot. 1667/SP del 5/11/2003; D.G.R.C. 816 del 10/06/2004) ne consegue che i Comuni che hanno subito una variazione dell'intensità sismica devono procedere ad una revisione degli strumenti urbanistici, in quanto questi risultano, di fatto, inadeguati a garantire la sicurezza nel territorio e, soprattutto, degli edifici in occasione dell'evento massimo atteso.

La mappa del territorio nazionale per la pericolosità sismica, disponibile on-line sul sito dell'INGV di Milano, redatta secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008), indica che il territorio comunale di **Forino** (Fig. 55) rientra nelle celle contraddistinte da valori di *ag* di riferimento compresi tra **0.150 e 0.200** (punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento *ag*; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50).

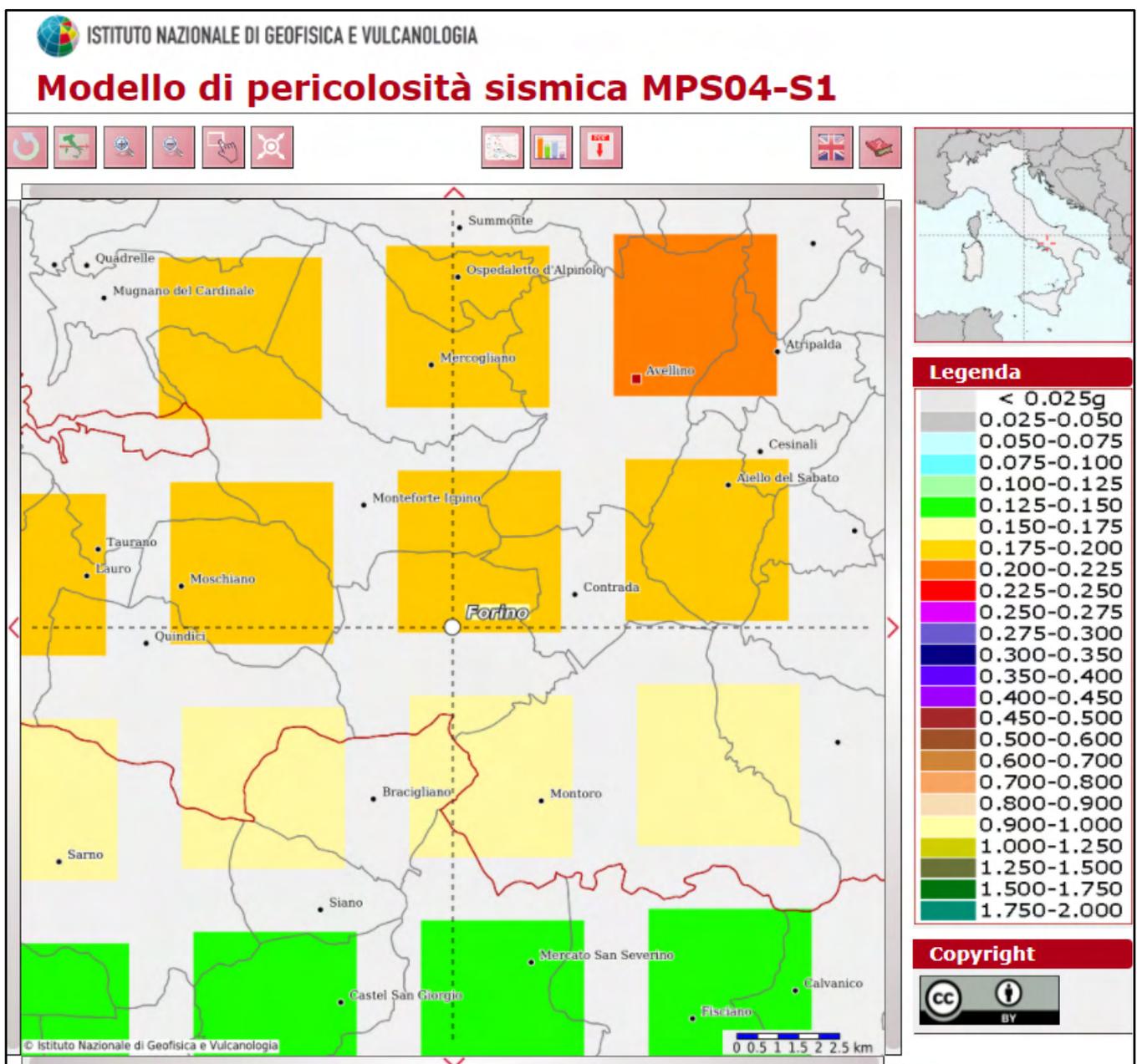


Fig. 55 – Mappa di pericolosità sismica redatta a cura dell'INGV di Milano secondo le N.T.C./2008  
Punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento *a*(g); probabilità in 50 anni 10%; percentile 50.

## 9. Indagini e caratterizzazione geologica, geotecnica e geofisica

### 9.1 Riferimenti normativi

Dal punto di vista strettamente operativo questo studio, nell'assegnare un peso alla componente geologica e geotecnica nella valutazione della fattibilità di opere ed interventi sul territorio, trae i suoi fondamenti dalla **L.R. 7 Gennaio 1983, n. 9 "Norme per l'esercizio delle funzioni regionali in materia di difesa del territorio dal rischio sismico"**. Essa rappresenta un importante strumento concepito per fornire informazioni sulle limitazioni d'uso del territorio derivanti dalle sue caratteristiche geologico-tecniche, morfologiche e dalla valutazione degli effetti delle sollecitazioni sismiche.

Il **D.M. LL.PP. 11/3/88**, concernente le "norme tecniche relative alle indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione", prescrive che le scelte di progetto, i calcoli e le verifiche tecniche relative alla progettazione devono fondarsi sempre sulla caratterizzazione geologica e geotecnica del sottosuolo ottenuta con rilievi, indagini e prove.

Con **Delibera di Giunta Regionale n. 5447 del 7 Novembre 2002 "Aggiornamento della classificazione sismica dei comuni della regione Campania"** (B.U.R.C. n. 56 del 18.11.2002) il comune di *Forino (AV)*, ai sensi e per gli effetti della legge 64/74, è stato inserito nella Categoria Sismica 2, a cui corrisponde un grado di sismicità S pari a 9.

I Comuni classificati sismici dalla Giunta Regionale sono obbligati ad osservare oltre le disposizioni di cui alla Legge 2 Febbraio 1974 n. 64 e successive modificazioni ed integrazioni, le norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996 e le relative istruzioni applicative di cui alla Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n. 65 AA.GG. del 10 Aprile 1997, anche le disposizioni della L.R. 7 Gennaio 1983 n. 9.

**L'Ordinanza 20 marzo 2003 n. 3274** del Presidente del Consiglio dei Ministri, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale dell'8/5/2003 n. 105, supplemento n. 72, ha approvato i criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica e, con essi, in prima applicazione, la nuova riclassificazione secondo le indicazioni del Gruppo di Lavoro del Dipartimento della Protezione Civile del 1998.

Il **D.M. 14 gennaio 2008 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni"**, pubblicato sul S.O. della Gazzetta Ufficiale n.30 del 04/02/2008, raccoglie in un unico organico testo le Norme tecniche per le costruzioni prima distribuite in diversi decreti ministeriali.

Il **D.M. 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni"**, pubblicato sul S.O. alla Gazzetta Ufficiale n.42 del 20/02/2018, aggiorna e sostituisce le Norme tecniche per le costruzioni approvate con il D.M. 14 gennaio 2008.

Tali nuove norme forniscono i criteri generali di sicurezza, precisano le azioni che devono essere utilizzate nel progetto, definiscono le caratteristiche dei materiali e dei prodotti e, più in generale, trattano gli aspetti attinenti alla sicurezza strutturale delle opere.

Per la redazione del presente studio sono state eseguite n°5 prospezioni sismiche M.A.S.W. (*Multichannel Analysis of Surface Waves* ovvero *Analisi Multicanale delle onde Superficiali di Rayleigh*), nonché sono state prese in considerazione tutte le indagini realizzate sul territorio comunale per lavori pubblici e privati messe a disposizione allo scrivente sia dall'Amministrazione Comunale di Forino che da altri professionisti (Geol. L. De Iasi, Geol. M. Liguori, Geol. A. Diana).

In particolare le indagini analizzate per la ricostruzione dell'assetto stratigrafico del sottosuolo, per la caratterizzazione geotecnica dei terreni e le prospezioni sismiche analizzate e realizzate dallo scrivente per la redazione di questo studio per la zonazione sismica del territorio comunale sono di seguito riportate:

- **N°32 sondaggi geognostici a carotaggio continuo** per la ricostruzione dell'assetto stratigrafico delle varie località del territorio comunale, di cui n°21 eseguiti per il P.R.G. e per il Piano di Recupero (Pdr), n°2 per l'ampliamento del cimitero comunale (Sc), n°7 per lo studio dei fenomeni di sinkhole (Sk), n°1 realizzato dall'ISPRA (Is) e n°1 eseguito da altri professionisti per lavori privati (S).
- **N°21 prove geotecniche di laboratorio** su campioni di terreno indisturbato e **n°68 prove S.P.T.** (*Standard Penetration Test*) per la determinazione dei parametri geotecnici dei terreni;
- **N°7 prospezioni sismiche superficiali tipo M.A.S.W.** per la determinazione della categoria di sottosuolo.
- **n°10 prospezioni sismiche superficiali tipo HVSR** per la determinazione della categoria di sottosuolo.

Nelle pagine successive si riporta una sintesi dei profili stratigrafici che caratterizzano il territorio comunale, un riepilogo delle indagini geotecniche effettuate in sito e in laboratorio e una descrizione delle prospezioni sismiche superficiali.

Per una visione completa dei risultati delle varie campagne di indagini in sito e in laboratorio si rimanda ai relativi allegati.

## 9.2 Sondaggi geognostici disponibili per il territorio comunale di Forino

In questo paragrafo si riportano i risultati delle precedenti campagne geognostiche realizzate a altri professionisti nel Comune di Forino per la redazione del Piano Regolatore Generale, del Piano di Recupero e per altri lavori pubblici e privati.

Le perforazioni per i sondaggi geognostici a carotaggio continuo si eseguono utilizzando una sonda a rotazione e circolazione di liquidi, capace di realizzare fori di diametro superiore o pari a 101 mm ad andamento verticale. Essa è di tipo modulare composta da un corpo macchina montato su ruote, una torre inclinabile, una testa d'iniezione provvista di tubo per l'immissione del fluido all'interno delle aste, una tavola rotary posta nella parte inferiore della torre, una batteria di aste componibile costituite da tubi d'acciaio di lunghezza pari a 3,00 metri, innestata superiormente

alla testa d'iniezione, che fungono da mezzo per la trasmissione del movimento al tubo carotiere e per portare, al fondo del foro, il fluido di perforazione costituito da acqua.

La terebrazione del terreno avviene integralmente con tecnica di perforazione a carotaggio continuo, mediante l'impiego di un carotiere semplice del diametro  $\varnothing = 101$  mm con corona ad inserti di widia con avanzamento a secco e/o utilizzando la minima quantità d'acqua necessaria per raffreddare gli utensili di perforazione.

La stabilità del foro, nella parte iniziale, è assicurata da un rivestimento metallico provvisorio, del diametro di  $\varnothing = 127$  mm, installato contestualmente al procedere della perforazione. Tale procedura rende minimo il disturbo nei terreni attraversati consentendo una percentuale di recupero sempre superiore al 90%. I campioni rimaneggiati, "carote", estratti nel corso delle perforazioni vengono alloggiati in apposite cassette catalogatrici munite di setti separatori e con apposito coperchio apribile, avendo cura di riportare negli scomparti interni le quote di riferimento di ciascuna manovra eseguita.

L'esame dettagliato consente la compilazione delle colonne stratigrafiche annotando le seguenti informazioni:

- spessore e profondità dal p.c. del tetto di ogni unità litostratigrafica. Vengono segnalate, nell'ambito delle unità, eventuali alternanze o particolari tipi di deposizione (varve, laminazioni ritmiche, ecc.);
- colore prevalente;
- composizione granulometrica approssimata, nei termini correnti (trovanti, ciottoli, ghiaia, sabbia, limo, argilla), indicando il diametro massimo della ghiaia ed elencando per prima la frazione prevalente e di seguito le eventuali altre frazioni secondo importanza percentuale;
- caratteristiche di consistenza (terreni coesivi) nei termini correnti (privo di consistenza, poco consistente, moderatamente consistente, consistente, molto consistente, estremamente consistente);
- caratteristiche di addensamento (terreni incoerenti) nei termini usuali (sciolto, poco addensato, moderatamente addensato, addensato, molto addensato); presenza di inclusi organici (resti vegetali, torbe, ecc.) e antropici (materiale di riporto, ecc.);
- presenza di eventuali falde acquifere;
- profondità di prelievo dei campioni indisturbati;
- profondità di esecuzione e risultati delle prove S.P.T.

Nella tabella che segue vengono riportate le coordinate geografiche delle perforazioni e le relative profondità raggiunte, il numero di campioni prelevati ed il numero delle prove eseguite in ogni foro di sondaggio al fine di esibire un quadro di immediata lettura di quanto analizzato.

Sondaggio (Sigla)	Coordinate		Perforazione (m.l.)	N° prelievo campioni	N° prove S.P.T.
	Latitudine	Longitudine			
1 Pdr	40.860720° N	14.739051° E	35,00	3	4
2 Pdr	40.861173° N	14.740201° E	20,00	1	2
3 Pdr	40.862989° N	14.737519° E	16,50	2	2
4 Pdr	40.862158° N	14.735320° E	18,50	1	2
5 Pdr	40.859976° N	14.731379° E	36,50	2	4
6 Pdr	40.857469° N	14.734739° E	37,00	0	4
7 Pdr	40.860356° N	14.735694° E	36,00	1	5
8 Pdr	40.857078° N	14.752574° E	30,00	2	3
9 Pdr	40.866996° N	14.750800° E	40,00	1	3
10 Pdr	40.855013° N	14.748725° E	38,50	1	4
11 Pdr	40.852857° N	14.750317° E	35,00	2	2
12 Pdr	40.846533° N	14.753918° E	21,50	2	2
13 Pdr	40.869638° N	14.749823° E	25,00	0	0
14 Pdr	40.866389° N	14.754558° E	30,00	2	0
15 Pdr	40.858770° N	14.734556° E	30,00	0	3
16 Pdr	40.857696° N	14.734076° E	30,00	0	7
17 Pdr	40.865915° N	14.748816° E	30,00	0	5
18 Pdr	40.866173° N	14.749846° E	30,00	0	5
19 Pdr	40.856249° N	14.746557° E	32,50	0	5
20 Pdr	40.856011° N	14.746602° E	27,50	0	4
21 Pdr	40.862343° N	14.734330° E	20,00	0	0
1 Sc	40.860598° N	14.748113° E	20,00	3	2
2 Sc	40.861269° N	14.747815° E	20,00	4	2
1 Sk	40.850657° N	14.740268° E	38,00	0	0
2 Sk	40.850424° N	14.739832° E	52,00	0	0
3 Sk	40.850262° N	14.739983° E	30,00	0	0
4 Sk	40.850835° N	14.739906° E	25,00	0	0
5 Sk	40.851128° N	14.733631° E	21,00	0	0
6 Sk	40.851761° N	14.731923° E	30,00	0	0
7 Sk	40.850512° N	14.739978° E	51,00	0	0
1 Sp	40.851869° N	14.715906° E	200,00	0	0
S1	40.848727° N	14.743298° E	30,00	1	0

## **Stratigrafie dei sondaggi realizzati per il P.R.G. e per il Piano di Recupero**

### **Stratigrafia sondaggio S1**

- 0,00 ÷ 4,80 m: Sabbia fine limosa bruno nerastra con elementi poligenici.
- 4,80 ÷ 9,00 m: Limo debolmente sabbioso bruno a tratti ricco di pomici.
- 9,00 ÷ 11,5 m: Sabbia fine limosa bruna, ricca di minute pomici.
- 11,5 ÷ 15,7 m: Limo sabbioso debolmente argilloso bruno con rade e minute pomici.
- 15,7 ÷ 24,2 m: Sabbia fine limosa bruna con rare pomici con livelletti di sabbia grigiastrea.
- 24,2 ÷ 25,6 m: Limo sabbioso bruno con minute pomici con livelli di limo argilloso grigio.
- 25,6 ÷ 35,0 m: Argilla debolmente marnosa grigiastrea con calcare marnoso.

### **Stratigrafia sondaggio S2**

- 0,00 ÷ 0,50 m: Massicciata stradale.
- 0,50 ÷ 2,00 m: Materiale eterogeneo di riporto.
- 2,00 ÷ 3,00 m: Limo sabbioso bruno nerastro humificato.
- 3,00 ÷ 4,50 m: Limo sabbioso bruno con pomici.
- 4,50 ÷ 19,0 m: Argilla limosa variegata con inclusioni calcareo-marnose.
- 19,0 ÷ 20,0 m: Argilla debolmente marnosa a tratti scagliosa grigiastrea con inclusioni lapidee.

### **Stratigrafia sondaggio S3**

- 0,00 ÷ 4,00 m: Materiale eterogeneo di riporto.
- 4,00 ÷ 10,0 m: Limo sabbioso bruno ricco di minute pomici a tratti humificato.
- 10,0 ÷ 10,5 m: Sabbia fine limosa bruna.
- 10,5 ÷ 16,5 m: Argilla limosa variegata con inclusioni lapidee.

### **Stratigrafia sondaggio S4**

- 0,00 ÷ 4,00 m: Materiale eterogeneo di riporto.
- 4,00 ÷ 5,80 m: Limo sabbioso bruno ricco di minute pomici.
- 5,80 ÷ 7,50 m: Limo argilloso bruno con minute pomici alterate.
- 7,50 ÷ 15,5 m: Argilla limosa variegata con inclusioni lapidee.
- 15,5 ÷ 18,5 m: Argilla marnosa grigiastrea scagliosa con inclusioni calcareo-marnose.

### **Stratigrafia sondaggio S5**

- 0,00 ÷ 0,70 m: Terreno agrario.
- 0,70 ÷ 2,50 m: Limo sabbioso con minute pomici bruno a tratti bruno-grigiastro.
- 2,50 ÷ 3,00 m: Limo sabbioso grigiastro ricco di pomici.
- 3,00 ÷ 7,50 m: Limo sabbioso debolmente argilloso ricco di minute pomici.
- 7,50 ÷ 9,00 m: Limo sabbioso bruno nerastro.
- 9,00 ÷ 16,5 m: Limo sabbioso argilloso bruno giallastro ricco di minute pomici.
- 16,5 ÷ 18,0 m: Limo sabbioso grigio giallastro con rade pomici.
- 18,0 ÷ 27,8 m: Limo sabbioso debolmente argilloso bruno con minute pomici alterate.
- 27,8 ÷ 36,5 m: Argilla grigio-violacea con inclusioni lapidee.

### **Stratigrafia sondaggio S6**

- 0,00 ÷ 3,50 m: Limo sabbioso bruno-giallastro con minute pomici.
- 3,50 ÷ 6,00 m: Pomici con sabbia limosa.
- 6,00 ÷ 11,0 m: Limo debolmente bruno-nerastro con pomici.
- 11,0 ÷ 19,0 m: Sabbia limosa grigio-giallastra con minute pomici a tratti grigiastra.
- 19,0 ÷ 20,0 m: Pomici con poca sabbia limosa grigiastra.
- 20,0 ÷ 26,5 m: Limo debolmente argilloso grigio con noduli verdastr.
- 26,5 ÷ 37,0 m: Pozzolana limo-sabbiosa con livelli di tufo giallo.

### **Stratigrafia sondaggio S7**

- 0,00 ÷ 6,00 m: Limo sabbioso bruno con pomici.
- 6,00 ÷ 11,2 m: Limo sabbioso-argilloso con lenti di pomici alterate bruno-giallastro.
- 11,2 ÷ 14,5 m: Sabbia debolmente limosa grigiastra a tratti ricca di nuclei pomicei.
- 14,5 ÷ 21,0 m: Limo sabbioso-argilloso bruno-grigiastro a tratto ricco di minute pomici alterate.
- 21,0 ÷ 36,0 m: Argilla limosa grigio-verdastra e rossastra con inclusioni lapidee.

### **Stratigrafia sondaggio S8**

- 0,00 ÷ 3,00 m: Sabbia limosa bruno-nerastra con elementi poligenici.
- 3,00 ÷ 5,00 m: Limo sabbioso brunastro ricco di pomici alterate.
- 5,00 ÷ 9,30 m: Limo sabbioso grigiastro con livelletti cementati.
- 9,30 ÷ 13,5 m: Limo sabbioso grigiastro con livelletti nerastr.
- 13,5 ÷ 15,5 m: Limo sabbioso argilloso grigio-giallastro.
- 15,5 ÷ 30,0 m: Sabbia pozzolanacea grigia con pomici.

### **Stratigrafia sondaggio S9**

- 0,00 ÷ 3,00 m: Sabbia limosa bruno-nerastra con elementi poligenici e frustoli vegetali.
- 3,00 ÷ 6,50 m: Sabbia debolmente limosa grigiastra a tratti ricca di minute pomici.
- 6,50 ÷ 12,2 m: Limo sabbioso bruno-nerastro con minute pomici.
- 12,2 ÷ 28,0 m: Alternanza di sabbie grigie lievemente cementate e limo bruno con pomici.
- 28,0 ÷ 35,0 m: Limo argilloso bruno-rossastro con sporadiche pomici alterate.
- 35,0 ÷ 35,8 m: Argilla grigiastra con elementi sabbiosi.
- 35,8 ÷ 40,0 m: Argilla marnosa grigio-azzurrognola con brecciole calcaree e marnose alterate.

### **Stratigrafia sondaggio S10**

- 0,00 ÷ 1,00 m: Terreno agrario.
- 1,00 ÷ 6,50 m: Limo sabbioso bruno ricco di minute pomici.
- 6,50 ÷ 10,0 m: Sabbia limosa grigia ricca di minute pomici.
- 10,0 ÷ 16,0 m: Limo sabbioso bruno grigiastro a tratti lievemente cementato.
- 16,0 ÷ 38,5 m: Sabbia fine limosa grigia con rade pomici.

### **Stratigrafia sondaggio S11**

- 0,00 ÷ 1,80 m: Sabbia fine limosa bruno-nerastra con elementi poligenici e frustoli vegetali.
- 1,80 ÷ 8,00 m: Limo debolmente sabbioso con pomici.
- 8,00 ÷ 9,50 m: Sabbia fine limosa grigiastra.
- 9,50 ÷ 16,0 m: Limo sabbioso grigiastro lievemente cementato a tratti ricco di pomici.
- 16,0 ÷ 18,5 m: Pomici con limo sabbioso bruno con livelletti nerastri.
- 18,5 ÷ 27,5 m: Sabbia fine limosa grigiastra con pomici con livelli debolmente cementati.
- 27,5 ÷ 35,0 m: Sabbia cineritica grigio-nerastra con livelli tufacei.

### **Stratigrafia sondaggio S12**

- 0,00 ÷ 3,50 m: Materiale eterogeneo di riporto.
- 3,50 ÷ 5,60 m: Pomici con sabbia limosa grigiastra.
- 5,60 ÷ 11,5 m: Limo sabbioso argilloso bruno con minute pomici.
- 11,5 ÷ 18,0 m: Limo argilloso variegato a tratti sabbioso con brecciole poligeniche.
- 18,0 ÷ 21,5 m: Limo sabbioso debolmente argilloso grigio e con brecciole poligeniche.

### **Stratigrafia sondaggio S13**

- 0,00 ÷ 0,70 m: Terreno agrario.
- 0,70 ÷ 2,30 m: Limo sabbioso bruno con pomici.
- 2,30 ÷ 4,00 m: Sabbia fine limosa bruna con pomici.
- 4,00 ÷ 4,50 m: Limo sabbioso debolmente argilloso con pomici.
- 4,50 ÷ 7,00 m: Sabbia limosa grigia con pomici.
- 7,00 ÷ 10,4 m: Limo debolmente sabbioso argilloso grigiastro con rade pomici.
- 10,4 ÷ 12,0 m: Argilla debolmente limosa grigia.
- 12,0 ÷ 25,0 m: Argilla marnosa a tratti scagliosa con inclusioni calcareo-marnose.

### **Stratigrafia sondaggio S14**

- 0,00 ÷ 1,00 m: Terreno agrario.
- 1,00 ÷ 3,00 m: Sabbia limosa bruna con minuti elementi poligenici.
- 3,00 ÷ 3,80 m: Sabbia limosa grigiastra con pomici.
- 3,80 ÷ 5,10 m: Limo sabbioso bruno con minute pomici alterate.
- 5,10 ÷ 6,20 m: Pomici in parte alterate con sabbia limosa grigiastra.
- 6,20 ÷ 7,50 m: Limo debolmente argilloso-sabbioso bruno.
- 7,50 ÷ 10,0 m: Sabbia limosa bruna ricca di minute pomici.
- 10,0 ÷ 20,5 m: Limo sabbioso debolmente argilloso bruno con pomici.
- 20,5 ÷ 21,5 m: Argilla limosa giallastra.
- 21,5 ÷ 28,0 m: Argilla limosa variegata con inclusioni lapidee.
- 28,0 ÷ 30,0 m: Argilla lievemente cementata giallastra alternata a livelletti argillosi variegati.

### **Stratigrafia sondaggio S15**

- 0,00 ÷ 1,20 m: Terreno agrario.
- 1,20 ÷ 2,80 m: Piroclastiti sabbioso-limose talora argillificate con pomici.
- 2,80 ÷ 4,10 m: Ghiaietto grigio con lapilli.
- 4,10 ÷ 8,30 m: Piroclastiti limoso-sabbiose talora argillificate.
- 8,30 ÷ 9,80 m: Pomici.
- 9,80 ÷ 16,0 m: Piroclastiti limoso-argillose con pomici.
- 16,0 ÷ 28,9 m: Pozzolana sabbiosa con pomici.
- 28,9 ÷ 30,0 m: Argilla verdastra scagliettata.

### **Stratigrafia sondaggio S16**

- 0,00 ÷ 1,20 m: Terreno agrario.
- 1,20 ÷ 3,00 m: Sabbia limosa con pomici.
- 3,00 ÷ 4,80 m: Piroclastiti sabbioso-limose con pomici.
- 4,80 ÷ 5,80 m: Sabbia grossa.
- 5,80 ÷ 8,50 m: Sabbia limosa brunastra.
- 8,50 ÷ 10,3 m: Piroclastiti sabbioso-limose con pomici.
- 10,3 ÷ 12,2 m: Pomici.
- 12,2 ÷ 13,7 m: Piroclastiti sabbioso-limose con pomici.
- 13,7 ÷ 18,0 m: Sabbia fina grigia talora pomicea.
- 18,0 ÷ 26,4 m: Piroclastiti sabbioso-limose.
- 26,4 ÷ 30,0 m: Pozzolana limo-sabbiosa con livelli di tufo giallo.

### **Stratigrafia sondaggio S17**

- 0,00 ÷ 0,80 m: Terreno agrario.
- 0,80 ÷ 2,80 m: Piroclastiti sabbiose con pomici.
- 2,80 ÷ 5,00 m: Sabbia grossa grigia.
- 5,00 ÷ 11,0 m: Piroclastiti sabbioso-limose.
- 11,0 ÷ 12,9 m: Piroclastiti argilloso-limose con sabbia.
- 12,9 ÷ 15,0 m: Piroclastiti limoso-sabbiose a tratti argillificate.
- 15,0 ÷ 17,7 m: Piroclastiti sabbioso-limose con pomici.
- 17,7 ÷ 20,0 m: Sabbia grossa grigia.
- 20,0 ÷ 26,0 m: Sabbia fina grigia.
- 26,0 ÷ 27,0 m: Argilla sabbiosa eluviale.
- 27,0 ÷ 30,0 m: Argilla grigio-azzurra scagliettata.

### **Stratigrafia sondaggio S18**

- 0,00 ÷ 1,20 m: Terreno agrario.
- 1,20 ÷ 1,50 m: Sabbia fina grigia.
- 1,50 ÷ 3,00 m: Piroclastiti limoso-sabbioso con pomici.
- 3,00 ÷ 5,00 m: Sabbia grossa grigia.
- 5,00 ÷ 6,70 m: Piroclastiti limo-sabbiose argillificate con pomici.
- 6,70 ÷ 10,3 m: Piroclastiti sabbioso-limose con pomici.
- 10,3 ÷ 11,5 m: Piroclastiti sabbioso-argillose con pomici.
- 11,5 ÷ 12,0 m: Piroclastiti sabbioso-limose.
- 20,0 ÷ 24,6 m: Sabbia fina grigia.
- 24,6 ÷ 25,0 m: Argilla sabbiosa eluviale.
- 25,0 ÷ 30,0 m: Argilla grigia scagliettata.

### **Stratigrafia sondaggio S19**

- 0,00 ÷ 1,20 m: Terreno agrario.
- 1,20 ÷ 1,50 m: Sabbia fina.
- 1,50 ÷ 2,60 m: Sabbia con pomici e lapilli.
- 2,60 ÷ 4,50 m: Sabbia limosa grigia con pomici.
- 4,50 ÷ 6,00 m: Sabbia limosa nerastra.
- 6,00 ÷ 13,5 m: Sabbia grossa talora pomicea.
- 13,5 ÷ 14,6 m: Piroclastiti limoso-argillose.
- 14,6 ÷ 18,2 m: Pozzolana sabbiosa con vario grado di cementazione.
- 18,2 ÷ 20,4 m: Piroclastiti sabbiose talora argillificate con pomici.
- 20,4 ÷ 32,5 m: Cineriti sabbiose avana e grigie.

### **Stratigrafia sondaggio S20**

- 0,00 ÷ 1,00 m: Terreno agrario.
- 1,00 ÷ 2,10 m: Sabbia con pomici e lapilli.
- 2,10 ÷ 7,30 m: Piroclastiti sabbioso-limose con pomici.
- 7,30 ÷ 12,8 m: Pomici con matrice sabbiosa.
- 12,8 ÷ 15,0 m: Pomici.
- 15,0 ÷ 16,6 m: Piroclastiti sabbioso-limose argillificate.
- 16,6 ÷ 18,8 m: Pozzolana sabbiosa.
- 18,8 ÷ 24,8 m: Cineriti sabbiose a tratti argillificate.
- 24,8 ÷ 27,5 m: Cineriti sabbioso-limose.

### **Stratigrafia sondaggio S21**

- 0,00 ÷ 4,70 m: Piroclastiti sabbioso-limose brunastre.
- 4,70 ÷ 5,50 m: Argilla limosa gialla con venature rosate.
- 5,50 ÷ 7,70 m: Argilla giallo-verdastra con livelli rossastri.
- 7,70 ÷ 8,90 m: Argilla grigia con intercalazioni lapidee.
- 8,90 ÷ 13,2 m: Argilla sabbiosa giallastra con calcare.
- 13,2 ÷ 20,0 m: Argilla marnosa grigia con inclusioni calcareo-marnose.

**STRATIGRAFIE DEI SONDAGGI GEOGNOSTICI REALIZZATI PER IL PROGETTO  
PER L'AMPLIAMENTO DEL CIMITERO COMUNALE**

***Stratigrafia sondaggio S1***

- 0,00 ÷ 0,50 m: Terreno agrario frammisto a riporto e detrito.
- 0,50 ÷ 2,50 m: Sabbia debolmente limosa, bruna, con abbondanti pomici granulari di piccole dimensioni.
- 2,50 ÷ 5,00 m: Limo sabbioso di colore marrone con inclusi pomicei anche di dimensioni centimetriche.
- 5,00 ÷ 8,50 m: Sabbia debolmente limosa con pomici granulari di piccole dimensioni, colore dal grigio scuro al marrone.
- 8,50 ÷ 12,1 m: Sabbia fine limosa bruna.
- 12,1 ÷ 13,8 m: Limo sabbioso localmente argilloso, di colore marrone, con inclusi ghiaiosi.
- 13,8 ÷ 16,0 m: Clasti di natura arenacea in matrice limosa.
- 16,0 ÷ 20,0 m: Argilla debolmente marnosa, a tratti scagliosa, grigiastria, con inclusi arenacei.

***Stratigrafia sondaggio S2***

- 0,00 ÷ 0,80 m: Terreno agrario indifferenziato.
- 0,80 ÷ 1,50 m: Sabbia debolmente limosa, bruna, con pomici granulari di piccole dimensioni.
- 1,50 ÷ 2,30 m: Sabbia sciolta con abbondanti lapilli e pomici.
- 2,30 ÷ 3,50 m: Limo sabbioso di colore marrone con inclusi pomicei.
- 3,50 ÷ 5,50 m: Sabbia limosa con clasti di natura arenacea.
- 5,50 ÷ 6,30 m: Clasti di natura arenacea in matrice limo-sabbiosa.
- 6,30 ÷ 7,50 m: Sabbia fine limosa, a tratti argillosa, di colore marrone.
- 7,50 ÷ 9,00 m: Limo sabbioso debolmente argilloso di colore marrone chiaro.
- 9,00 ÷ 11,0 m: Piroclastiti argillificate con inclusi pomicei.
- 11,0 ÷ 11,5 m: Clasti arenacei in matrice sabbiosa.
- 11,5 ÷ 14,5 m: Piroclastiti argillificate con inclusi pomicei e clasti di natura arenacea.
- 14,5 ÷ 17,0 m: Limo argilloso debolmente sabbioso di colore grigio chiaro.
- 17,0 ÷ 20,0 m: Argilla debolmente marnosa, a tratti scagliosa, grigiastria, con inclusi arenacei.

## **STRATIGRAFIE DEI SONDAGGI GEOGNOSTICI REALIZZATI PER LAVORI PRIVATI**

### ***Stratigrafia sondaggio S1 – Località: via Carpino***

- 0,00 ÷ 0,80 m: Terreno vegetale sabbioso marrone con pietrame calcareo biancastro sparso.
- 0,80 ÷ 2,00 m: Terreno vegetale sabbioso limoso marrone scuro.
- 2,00 ÷ 3,80 m: Sabbia debolmente limosa di colore marrone.
- 3,80 ÷ 5,30 m: Sabbia grossolana scura sciolta.
- 5,30 ÷ 9,50 m: Limo marrone con pomici varicolori, a luoghi argilloso e/o sabbioso.
- 9,50 ÷ 11,2 m: Pomici biancastre sciolte in matrice sabbiosa scura.
- 11,2 ÷ 12,3 m: Limo marrone di origine piroclastica.
- 12,3 ÷ 30,0 m: Sabbia scura grossolana piroclastica in poca matrice limosa; a luoghi si rinvengono livelli più limosi di colore marrone.

### 9.3 Caratteri litostratigrafici del territorio comunale

I dati stratigrafici dei sondaggi geognostici disponibili confermano che in generale la struttura stratigrafica dei primi metri 30 della piana del comprensorio comunale si presenta di regola sostanzialmente uniforme. Sono infatti riscontrabili alternanze e successioni di litotipi prevalentemente a grana fine con piccole variazioni granulometriche variabili sia lateralmente che verticalmente. Tale caratteristica variabilità verticale e laterale si riscontra anche in riferimento allo stato di compattezza dei depositi. Nel sottosuolo dell'area sono diffusi, in posizione geometrica più prossima alla superficie topografica, depositi piroclastici a grana fine e media con diverso grado dello stato di alterazione. Al di sotto di tali terreni nelle aree della piana della frazione Celzi sono stati riconosciuti litotipi tufacei da correlare alla formazione dell'Ignimbrite campana; ovunque altamente alterato e argillificato.

Nel sottosuolo delle aree di pediment, le piroclastiti sciolte presentano più di una intercalazione di livelli caotici costituiti prevalentemente da ghiaie di natura calcarea immersi in matrice limo sabbiosa e ghiaietto, da correlare ad episodi alluvionamento (conoidi) e/o fenomeni di debris flow.

Ovunque a più altezze nel sottosuolo si rinvencono livelli lenticolari di limi argillificati di colore scuro costituenti dei paleosuoli o suoli con uno stato di pedogenesi avanzata.

In particolare nel sottosuolo i sondaggi hanno attraversato diversi complessi litologici, le cui caratteristiche litologiche tecniche) vengono descritte in maniera sintetica secondo la loro posizione geometrica dall'alto verso il basso come evidenziato da gran parte delle colonne stratigrafiche dei sondaggi esaminati.

Si sottolinea che mentre le piroclastiti alterate e le piroclastiti detritiche rimaneggiate nel sottosuolo si alternano a più altezze, anche con frequenti passaggi gradualmente sia di tipo laterale che verticale, le piroclastiti argillificate ed i litotipi tufacei alterati sono stati riscontrati nei tratti terminali più profondi dei sondaggi.

Sotto il profilo litostratigrafico, dunque, l'abitato di Forino poggia uniformemente su un deposito quaternario costituito essenzialmente da pozzolana, piroclastiti argillificate e sabbie alluvionali.

Il complesso basale argilloso di età miocenica si individua tra 4,50 m e 10,00 m dal piano di campagna (sondaggi 1-2-3-4); nella parte centro-settentrionale si registra un rapido approfondimento del substrato: a Piazza Municipio si incontra a 21,50 m di profondità (sondaggio 1), a Casaldamato a 27,50 m di profondità (sondaggio 5), a sud della Villa Comunale tra 21,00 m (sondaggio 7) e 28,90 m (sondaggio 15) di profondità.

Nella frazione Celzi, i sondaggi eseguiti (spinti fino a 35,00 m di profondità) non hanno mai raggiunto il substrato argilloso, attraversando invece negli ultimi metri una spessa placca di tufo grigio (sondaggi 10 e 11), con falda freatica tra 6,50 m e 8,10 m dal piano campagna.

Nella frazione Preturo, adagiata nella testata di unavallecola secondaria svasata, il substrato si rinviene verso monte (sondaggio 13) a 10,40 m di profondità e verso valle (sondaggio 17) a 26,00 m di profondità.

Nella frazione Castello il substrato è rappresentato uniformemente dai calcari.

## 9.4 Prove Standard Penetration Test (S.P.T.)

Le prove S.P.T. (*Standard Penetration Test*)" eseguite nel corso dei sondaggi a carotaggio continuo e analizzate per il presente studio sono state in totale n°68. Esse consentono di determinare la resistenza offerta dal terreno alla penetrazione dinamica di una punta conica, a partire dal fondo del foro di sondaggio, permettendo di determinare alcune caratteristiche geotecniche dei terreni.

Questo tipo di prova consiste nel far cadere un maglio con peso di 63,5 Kg da un'altezza di 76 cm, su una testa di battuta fissata alla sommità di una batteria di aste alla cui estremità inferiore è avvitata una punta conica del diametro esterno di 51 mm ed apertura di 60°.

Il numero di colpi (N<sub>2</sub>+N<sub>3</sub>) necessario per una penetrazione di 30 cm, a seguito di una penetrazione di 15 cm di infissione dinamica per il posizionamento (N<sub>1</sub>), detto di avviamento, viene assunto come indice di resistenza alla penetrazione.

<i>TABELLA RIASSUNTIVA PROVE S.P.T.</i>				
<b>Sondaggio S1 - Piano di Recupero</b>				
Prof. (m)	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	<b>N<sub>SPT</sub></b>
4.80 ÷ 5.25	2	2	3	<b>5</b>
11.00 ÷ 11.45	2	4	5	<b>9</b>
18.00 ÷ 18.45	3	5	6	<b>11</b>
21.00 ÷ 21.45	5	10	18	<b>28</b>
<b>Sondaggio S2 - Piano di Recupero</b>				
Prof. (m)	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	<b>N<sub>SPT</sub></b>
4.50 ÷ 4.95	5	8	13	<b>21</b>
8.20 ÷ 8.65	27	25	20	<b>45</b>
<b>Sondaggio S3 - Piano di Recupero</b>				
Prof. (m)	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	<b>N<sub>SPT</sub></b>
4.50 ÷ 4.95	3	5	4	<b>9</b>
10.00 ÷ 10.45	6	7	11	<b>18</b>
<b>Sondaggio S4 - Piano di Recupero</b>				
Prof. (m)	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	<b>N<sub>SPT</sub></b>
5.80 ÷ 6.25	4	8	10	<b>18</b>
10.00 ÷ 10.45	5	7	12	<b>19</b>
<b>Sondaggio S5 - Piano di Recupero</b>				
Prof. (m)	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	<b>N<sub>SPT</sub></b>
7.50 ÷ 7.95	3	5	8	<b>13</b>
12.50 ÷ 12.95	3	6	7	<b>13</b>
18.00 ÷ 18.45	4	7	10	<b>17</b>
24.00 ÷ 24.45	3	7	11	<b>18</b>

<b>Sondaggio S6 - Piano di Recupero</b>				
Prof. (m)	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	<b>N<sub>SPT</sub></b>
6.00 ÷ 6.45	3	5	5	<b>10</b>
10.50 ÷ 10.95	4	6	10	<b>16</b>
15.00 ÷ 15.45	4	8	10	<b>18</b>
20.00 ÷ 20.45	6	9	15	<b>24</b>
<b>Sondaggio S7 - Piano di Recupero</b>				
Prof. (m)	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	<b>N<sub>SPT</sub></b>
4.90 ÷ 5.35	3	4	6	<b>10</b>
11.50 ÷ 11.95	4	7	12	<b>19</b>
16.00 ÷ 16.45	5	6	9	<b>15</b>
21.00 ÷ 21.45	8	15	21	<b>36</b>
26.00 ÷ 26.45	12	23	40	<b>63</b>
<b>Sondaggio S8 - Piano di Recupero</b>				
Prof. (m)	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	<b>N<sub>SPT</sub></b>
3.00 ÷ 3.45	2	3	3	<b>6</b>
7.50 ÷ 7.95	14	27	32	<b>59</b>
15.30 ÷ 15.75	3	9	11	<b>20</b>
<b>Sondaggio S9 - Piano di Recupero</b>				
Prof. (m)	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	<b>N<sub>SPT</sub></b>
4.00 ÷ 4.45	3	7	11	<b>18</b>
10.00 ÷ 10.45	3	13	18	<b>31</b>
19.50 ÷ 19.95	5	12	21	<b>33</b>
<b>Sondaggio S10 - Piano di Recupero</b>				
Prof. (m)	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	<b>N<sub>SPT</sub></b>
4.00 ÷ 4.45	3	2	2	<b>4</b>
9.00 ÷ 9.45	3	5	8	<b>13</b>
16.00 ÷ 16.45	4	9	13	<b>22</b>
21.00 ÷ 21.45	8	11	30	<b>41</b>
<b>Sondaggio S11 - Piano di Recupero</b>				
Prof. (m)	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	<b>N<sub>SPT</sub></b>
8.50 ÷ 8.95	2	12	Rifiuto	<b>&gt;50</b>
12.70 ÷ 13.15	4	15	40	<b>55</b>
<b>Sondaggio S12 - Piano di Recupero</b>				
Prof. (m)	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	<b>N<sub>SPT</sub></b>
5.40 ÷ 5.85	4	8	15	<b>23</b>
12.00 ÷ 12.45	4	12	21	<b>33</b>

<b>Sondaggio S15 - Piano di Recupero</b>				
Prof. (m)	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	<b>N<sub>SPT</sub></b>
3.50 ÷ 3.95	3	4	4	<b>8</b>
5.90 ÷ 6.35	2	2	3	<b>5</b>
8.70 ÷ 9.15	13	21	25	<b>46</b>
<b>Sondaggio S16 - Piano di Recupero</b>				
Prof. (m)	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	<b>N<sub>SPT</sub></b>
3.90 ÷ 4.35	16	23	29	<b>52</b>
5.70 ÷ 6.15	2	3	4	<b>7</b>
7.00 ÷ 7.45	3	4	4	<b>8</b>
8.50 ÷ 8.95	2	2	3	<b>5</b>
10.00 ÷ 10.45	3	4	6	<b>10</b>
11.50 ÷ 11.95	13	19	21	<b>40</b>
13.00 ÷ 13.45	3	2	3	<b>5</b>
<b>Sondaggio S17 - Piano di Recupero</b>				
Prof. (m)	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	<b>N<sub>SPT</sub></b>
2.00 ÷ 2.45	2	2	3	<b>5</b>
3.50 ÷ 3.95	4	7	8	<b>15</b>
5.00 ÷ 5.45	1	2	2	<b>4</b>
7.00 ÷ 7.45	1	1	2	<b>3</b>
10.50 ÷ 10.95	2	1	2	<b>3</b>
<b>Sondaggio S18 - Piano di Recupero</b>				
Prof. (m)	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	<b>N<sub>SPT</sub></b>
2.00 ÷ 2.45	3	2	3	<b>5</b>
3.00 ÷ 3.45	2	3	4	<b>7</b>
4.40 ÷ 4.85	9	16	21	<b>37</b>
6.00 ÷ 6.45	1	2	2	<b>4</b>
7.50 ÷ 7.95	1	1	2	<b>3</b>
<b>Sondaggio S19 - Piano di Recupero</b>				
Prof. (m)	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	<b>N<sub>SPT</sub></b>
2.00 ÷ 2.45	3	4	4	<b>8</b>
3.50 ÷ 3.95	3	4	5	<b>9</b>
4.50 ÷ 4.95	2	2	3	<b>5</b>
6.00 ÷ 6.45	1	2	2	<b>4</b>
7.30 ÷ 7.75	6	4	8	<b>12</b>

<b>Sondaggio S20 - Piano di Recupero</b>				
Prof. (m)	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	<b>N<sub>SPT</sub></b>
1.50 ÷ 1.95	7	9	12	<b>21</b>
3.00 ÷ 3.45	5	12	9	<b>21</b>
4.50 ÷ 4.95	4	8	10	<b>18</b>
5.50 ÷ 5.95	4	6	8	<b>14</b>
<b>Sondaggio S1 – Ampliamento cimitero comunale</b>				
Prof. (m)	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	<b>N<sub>SPT</sub></b>
2.50 ÷ 2.95	1	1	2	<b>3</b>
7.50 ÷ 7.95	8	10	11	<b>21</b>
<b>Sondaggio S2 – Ampliamento cimitero comunale</b>				
Prof. (m)	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	<b>N<sub>SPT</sub></b>
2.00 ÷ 2.45	1	2	3	<b>5</b>
13.50 ÷ 13.95	5	4	4	<b>8</b>

## 9.5 Prelievo di campioni indisturbati

Per la determinazione sperimentale delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni, nel corso dei sondaggi a carotaggio continuo analizzati sono stati prelevati in totale n°21 campioni di terreno indisturbato, a pressione mediante fustella di acciaio inox a pareti sottili (*Shelby*) che viene infissa nel terreno senza rotazione allo scopo di indurre il minore disturbo possibile al campione.

La fustella contenente il campione di terreno estratto è costituita da un tubo in acciaio inox della lunghezza di 60 cm e del diametro di 10 cm avente la base tagliente con angolo di scarpa compreso tra 4° e 15°.

I campioni, successivamente sottoposti ad analisi e prove geotecniche di laboratorio, sono stati prelevati a varie profondità e sono stati identificati con le sigle come riportato nella successiva tabella riepilogativa.

<b>Numero Sondaggio</b>	<b>Profondità di prelievo (m)</b>	<b>Sigla campione</b>	<b>Tipo di campione</b>
1 – Piano di Recupero	3,00 ÷ 3,50	1A	Indisturbato
1 – Piano di Recupero	4,30 ÷ 4,80	1B	Indisturbato
1 – Piano di Recupero	10,00 ÷ 10,50	1C	Indisturbato
2 – Piano di Recupero	15,50 ÷ 16,00	2A	Indisturbato
3 – Piano di Recupero	4,00 ÷ 4,50	3A	Indisturbato
3 – Piano di Recupero	9,00 ÷ 9,50	3B	Indisturbato
4 – Piano di Recupero	5,30 ÷ 5,80	4A	Indisturbato
5 – Piano di Recupero	7,00 ÷ 7,50	5A	Indisturbato
5 – Piano di Recupero	12,00 ÷ 12,50	5B	Indisturbato
7 – Piano di Recupero	11,00 ÷ 11,50	7A	Indisturbato
8 – Piano di Recupero	5,20 ÷ 5,70	8A	Indisturbato
8 – Piano di Recupero	14,70 ÷ 15,30	8B	Indisturbato
9 – Piano di Recupero	19,00 ÷ 19,50	9A	Indisturbato
10 – Piano di Recupero	5,30 ÷ 5,80	10A	Indisturbato
11 – Piano di Recupero	7,00 ÷ 7,50	11A	Indisturbato
11 – Piano di Recupero	17,20 ÷ 17,70	11B	Indisturbato
12 – Piano di Recupero	11,50 ÷ 12,00	12A	Indisturbato
12 – Piano di Recupero	14,00 ÷ 14,50	12B	Indisturbato
14 – Piano di Recupero	20,50 ÷ 21,00	14A	Indisturbato
14 – Piano di Recupero	20,50 ÷ 21,00	14A	Indisturbato
S1 – Cimitero Comunale	3,50 ÷ 4,00	C1	Indisturbato
S1 – Cimitero Comunale	7,00 ÷ 7,50	C2	Indisturbato
S1 – Cimitero Comunale	14,00 ÷ 14,50	C3	Indisturbato
S2 – Cimitero Comunale	1,50 ÷ 2,00	C1	Indisturbato
S2 – Cimitero Comunale	3,00 ÷ 3,50	C2	Indisturbato
S2 – Cimitero Comunale	5,00 ÷ 5,50	C3	Indisturbato
S2 – Cimitero Comunale	16,00 ÷ 16,50	C4	Indisturbato

## 9.6 Caratteristiche geotecniche dei terreni

Lo studio delle analisi e prove di laboratorio condotte sui campioni di terreno indisturbato prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi geognostici a carotaggio continuo consente una classificazione, anche qualitativa, delle caratteristiche geotecniche dei principali orizzonti attraversati dalle perforazioni.

Una prima grande distinzione va fatta tra le argille del substrato e la coltre di terreni costituiti essenzialmente da piroclastiti e da colluvioni. In questi ultimi litotipi le analisi e le prove geotecniche consentono di evidenziare un certo numero di facies granulometriche caratteristiche.

Il primo gruppo si riferisce ai limi sabbiosi, talora debolmente argillosi, dove la frazione più sottile ricorre mediamente nella percentuale del 68-76%. Il secondo gruppo è quello costituito dai limi argillosi, talora sabbiosi, dove la frazione più sottile raggiunge l'85%. Un terzo gruppo comprende sedimenti essenzialmente sabbiosi e talora ghiaiosi con granuli pomicei con matrice limosa.

I primi due gruppi sono quelli più rappresentati con disposizione stratigrafica talmente varia da non consentire distinzioni areali; nell'ambito di uno stesso sondaggio l'assetto granulometrico si alterna aritmicamente. Lo stesso terzo gruppo, essenzialmente pomiceo, non consente correlazioni da punto a punto per la disposizione lentiforme. In generale si tratta di materiali saturi con contenuto naturale d'acqua nell'intervallo 21-55%.

Al fine di valutare i parametri che intervengono nella determinazione della resistenza, il materiale è stato sottoposto a prove diversificate in regime triassiale: le prove senza drenaggio hanno fornito valori della coesione apparente nell'intervallo 0,45-0,95 Kg/cm<sup>2</sup>; le prove con consolidazione senza drenaggio hanno consentito la determinazione dei valori effettivi della coesione pari a 0,20 Kg/cm<sup>2</sup> e dell'angolo di attrito interno pari a 17°; le prove con drenaggio hanno fornito una coesione di 0,07-0,15 Kg/cm<sup>2</sup> con un angolo di attrito nell'intervallo 10-20°.

Per quanto riguarda il complesso argilloso basale i valori della coesione apparente rientrano quasi sempre in intervalli alti pari a 1,15-1,20 Kg/cm<sup>2</sup>; l'angolo di attrito interno mediamente assume il valore di 20°.

In corrispondenza di orizzonti significativi, o comunque a quote prefissate, sono state eseguite prove penetrometriche in foro di sondaggio secondo metodologia standardizzata (S.P.T.). Tali prove hanno consentito una valutazione delle caratteristiche di densità in sito per i terreni incoerenti e della coesione non drenata per quelli coesivi.

Con riferimento agli orizzonti esaminati, i valori della resistenza alla penetrazione sono sempre bassi (4-10) fino alla profondità di 5,00 m e cioè in corrispondenza di terreni con caratteristiche tecniche scadenti.

Da 5,00 m a 10,00 m la resistenza penetrometrica aumenta assumendo in genere valori basso-medi (13-23) con valori più alti (30) in corrispondenza di intervalli sabbiosi più addensati.

Nel substrato argilloso la resistenza penetrometrica ricade nell'intervallo 30-60, con valori più bassi (18) in corrispondenza della fascia eluviale.

## 9.7 Prospezioni di sismica passiva a stazione singola (HVSR)

Per la redazione dello studio di Microzonazione Sismica dei centri abitati del Comune di Forino sono state eseguite n°8 prospezioni di sismica passiva a stazione singola del tipo **HVSR** (numerate sulla Carta di ubicazione delle indagini da 1 a 8).

In aggiunta, sono state prese in considerazione anche altre prospezioni due sismiche dello stesso tipo eseguite per lavori privati da altri professionisti (9 e 10).

Di seguito si riportano le coordinate geografiche delle prospezioni sismiche superficiali HVSR prese in considerazione per lo scopo del presente studio.

*Coordinate geografiche delle prospezioni HVSR eseguite nel territorio comunale di Forino*

<b>Stendimento</b>	<b>Latitudine</b>	<b>Longitudine</b>
HVSR 1	40.860930° N	14.738404° E
HVSR 2	40.859868° N	14.730972° E
HVSR 3	40.864438° N	14.722353° E
HVSR 4	40.866882° N	14.751624° E
HVSR 5	40.852564° N	14.749971° E
HVSR 6	40.858549° N	14.720355° E
HVSR 7	40.864558° N	14.735732° E
HVSR 8	40.860541° N	14.749341° E
HVSR 9	40.851045° N	14.744478° E
HVSR 10	40.862535° N	14.734956° E

L'indagine consiste nella misurazione, e nella successiva elaborazione, del microtremore ambientale nelle sue tre componenti spaziali (x, y e z opp. E-W, N-S e Up-Down) a varie frequenze. Dall'analisi delle componenti spettrali delle tracce registrate è possibile:

- ricavare la frequenza fondamentale (o di risonanza) del sito;
- ottenere un'interpretazione del profilo stratigrafico-sismico ad elevata profondità con stima sulla profondità del bedrock (substrato sismico o litologico) e del parametro  $V_{S30}$  (velocità media delle onde S (di taglio) nei primi 30 metri di profondità).

La prova sismica passiva a stazione singola mette in luce le frequenze alle quali il moto del terreno viene amplificato per risonanza stratigrafica (si ha risonanza stratigrafica quando si è in presenza di terreni di copertura con spessore superiore a tre metri su di un substrato rigido), in quanto il rumore sismico agisce come sorgente di eccitazione.

Un suolo vibra con maggiore ampiezza a specifiche frequenze (per l'appunto di risonanza) non solo quando è eccitato da un terremoto ma anche quando è eccitato da un tremore di qualsiasi origine. Questo fa sì che la misura delle frequenze di risonanza dei terreni sia possibile ovunque ed in modo semplice, anche in assenza di terremoti.

Le frequenze a cui si manifesta la risonanza sono descritte dalla relazione:  $f=Vs/4h$  (formula semplificata) dove Vs è la velocità delle onde di taglio nello strato che risona e h è lo spessore di detto strato.

La prova, comunemente nota con il termine H/V o HVSR (rapporto tra le componenti spettrali orizzontali H e verticale V) fu applicata per la prima volta da *Nogoshi e Igarashi* (1970) e resa popolare da *Nakamura* (1989). Infatti è proprio dal grafico del rapporto tra le componenti spettrali orizzontale e verticale (Fig. 56) che viene evidenziata la frequenza (o più frequenze se si è in presenza di un profilo stratigrafico multistrato con contrasti di impedenza significativi) attraverso un "picco" della curva, quest'ultimo in genere dovuto ad un minimo della componente verticale, riscontrabile negli spettri delle singole componenti (Fig. 57).

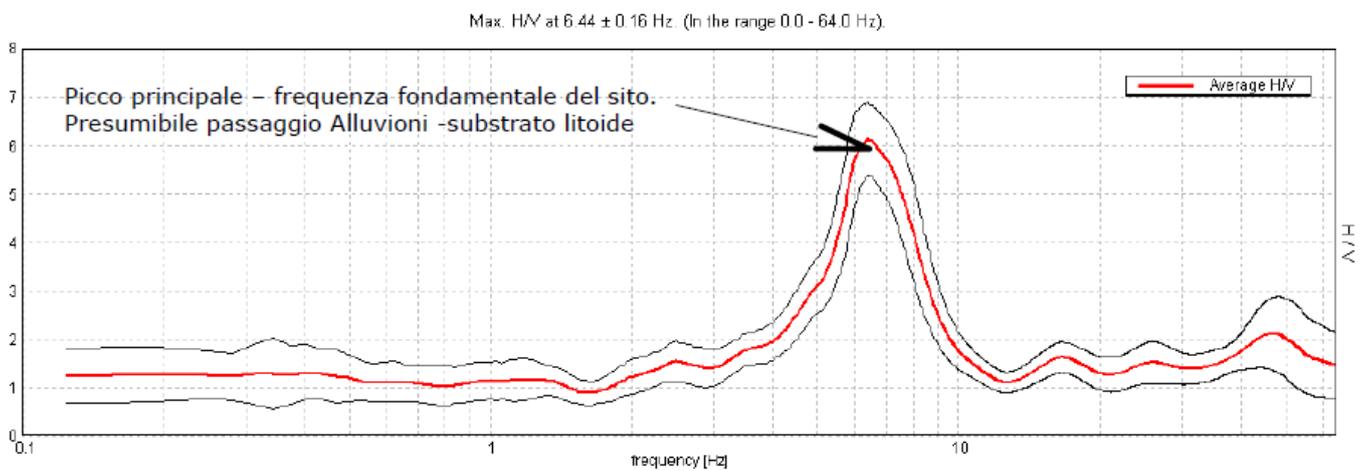


Fig. 58 – Rapporto spettrale orizzontale su verticale (H/V). Registrazione effettuata in corrispondenza di un sito caratterizzato dalla presenza di depositi alluvionali pleistocenici poggianti su di un substrato di rocce sedimentarie (marne mioceniche)

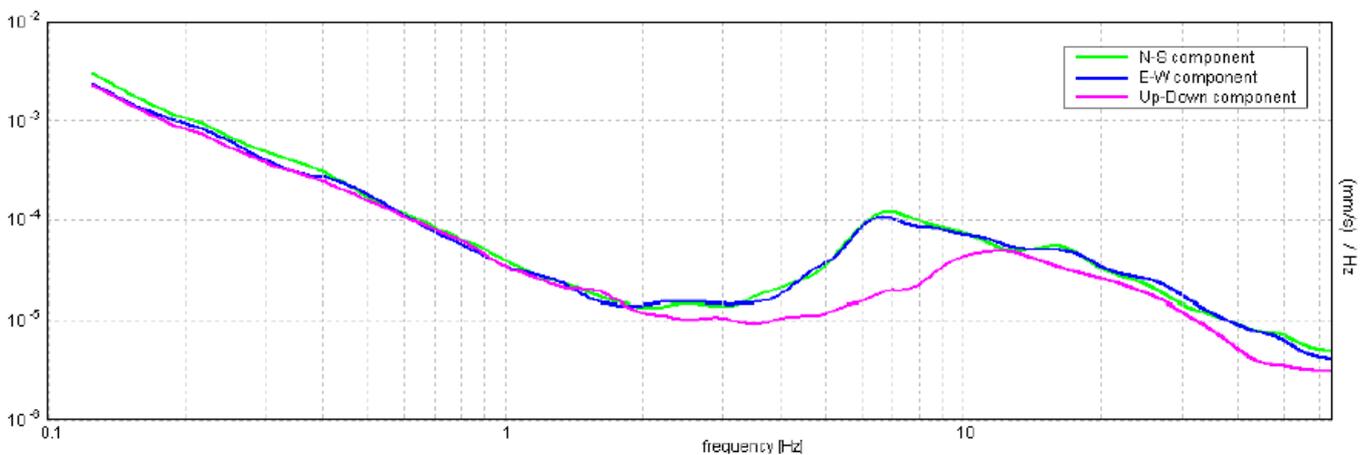


Fig. 58 – Spettri singole componenti (la forma ad "ogiva" tra tre componenti orizzontali e quella verticale individua un picco certamente di tipo stratigrafico e non di tipo "artefatto")

La frequenza fondamentale del sito è da intendersi quella più significativa a bassa frequenza. Eventuali altre frequenze evidenziate (picchi secondari) se vicine alle frequenze di interesse ingegneristico (struttura) possono essere comunque significative.

Le frequenze di risonanza del sottosuolo, costituiscono un parametro fondamentale per i progettisti, i quali devono evitare, o se non è possibile quanto meno tenere in debita considerazione nel dimensionamento delle strutture, i fenomeni di "doppia risonanza" che costituiscono la vera causa delle distruzioni generate da un terremoto.

La legislazione vigente in materia di rischio sismico vigente (N.T.C. 2018) adotta come parametro fondamentale per la stima degli effetti di sito la velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo, parametro comunemente chiamato  $V_{S30}$ .

Una tecnica per la misura di  $V_{S30}$  che fornisce valori con approssimazioni accettabili, è basata sulla inversione dei rapporti spettrali del tremore sismico (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR) registrato da una stazione singola. La curva sperimentale HVSR viene "fittata" (Fig. 59), cioè adattata approssimando il più possibile la curva del modello teorico con quella sperimentale (misurata), con una curva teorica usando come vincolo lo spessore dello strato più superficiale (o altro orizzonte il cui picco H/V è individuabile sulla curva sperimentale) di sottosuolo (generalmente noto dalle indagini geotecniche dirette), basandosi sulla nota equazione che lega la frequenza di risonanza ( $f$ ) allo spessore ( $h$ ) dello strato e alla velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ):

$$f = V_s/4h \text{ (da cui } h=V_s/4f)$$

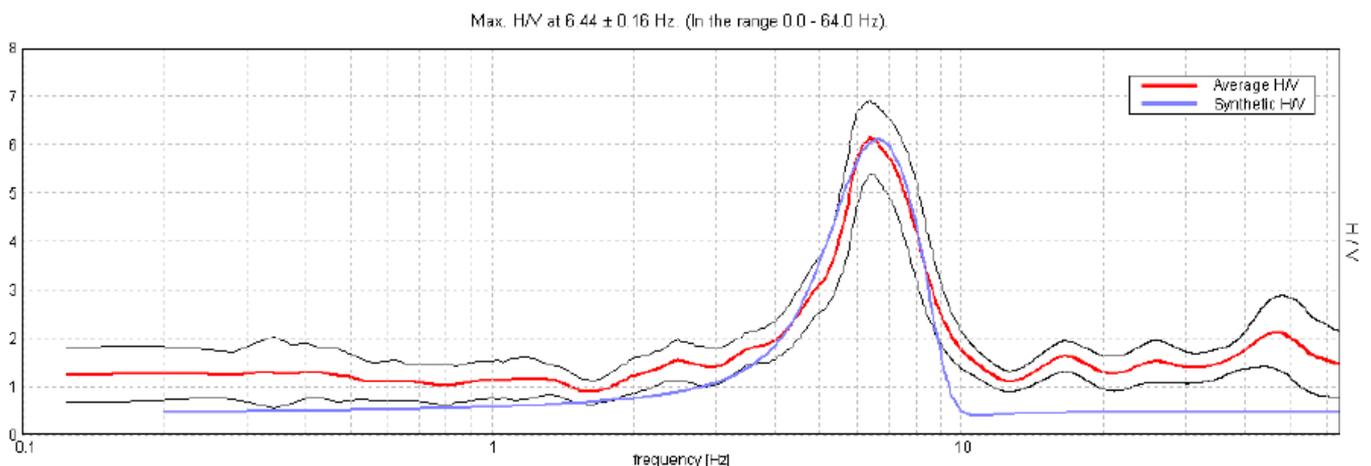


Fig. 59 – Esempio di "fittaggio" modello teorico. H/V sperimentale (rosso) vs H/V sintetico (blu)

Di seguito si riporta una sintesi dei risultati ottenuti con le prospezioni sismiche HVSR eseguite nel territorio comunale. Per una visione completa si rimanda al relativo allegato.

### HVSR n°1

*Prospetto delle determinazioni dei valori di  $V_s$  per i sismostrati riscontrati HVSR n°1*

<b>Sismostrato</b>	<b>Profondità (m)</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b><math>V_s</math> (m/s)</b>
S1	0,00 – 0,20	0,20	90
S2	0,20 – 3,70	3,50	250
S4	3,70 – 32,20	28,50	320
S5	inf.	inf.	690

### HVSR n°2

*Prospetto delle determinazioni dei valori di  $V_s$  per i sismostrati riscontrati HVSR n°2*

<b>Sismostrato</b>	<b>Profondità (m)</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b><math>V_s</math> (m/s)</b>
S1	0,00 – 0,20	0,20	90
S2	0,20 – 8,20	8,00	240
S3	8,20 – 39,70	31,50	310
S4	inf.	inf.	600

### HVSR n°3

*Prospetto delle determinazioni dei valori di  $V_s$  per i sismostrati riscontrati HVSR n°3*

<b>Sismostrato</b>	<b>Profondità (m)</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b><math>V_s</math> (m/s)</b>
S1	0,00 – 0,20	0,20	90
S2	0,20 – 5,20	5,00	240
S3	5,20 – 41,20	36,00	380
S4	inf.	inf.	820

### HVSR n°4

*Prospetto delle determinazioni dei valori di  $V_s$  per i sismostrati riscontrati HVSR n°4*

<b>Sismostrato</b>	<b>Profondità (m)</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b><math>V_s</math> (m/s)</b>
S1	0,00 – 0,20	0,20	90
S2	0,20 – 6,20	6,00	250
S3	6,20 – 34,20	28,00	330
S4	inf.	inf.	590

### HVSR n°5

*Prospetto delle determinazioni dei valori di  $V_s$  per i sismostrati riscontrati HVSR n°5*

<b>Sismostrato</b>	<b>Profondità (m)</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b><math>V_s</math> (m/s)</b>
S1	0,00 – 0,20	0,20	90
S2	0,20 – 9,70	9,50	200
S3	9,70 – 50,70	41,00	330
S4	inf.	inf.	590

### HVSR n°6

*Prospetto delle determinazioni dei valori di  $V_s$  per i sismostrati riscontrati HVSR n°6*

<b>Sismostrato</b>	<b>Profondità (m)</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b><math>V_s</math> (m/s)</b>
S1	0,00 – 0,20	0,20	90
S2	0,20 – 5,20	5,00	200
S3	5,20 – 9,20	4,00	280
S4	9,20 – 29,20	20,00	350
S5	inf.	inf.	600

### HVSR n°7

*Prospetto delle determinazioni dei valori di  $V_s$  per i sismostrati riscontrati HVSR n°7*

<b>Sismostrato</b>	<b>Profondità (m)</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b><math>V_s</math> (m/s)</b>
S1	0,00 – 0,20	0,20	90
S2	0,20 – 1,20	1,00	250
S3	1,20 – 12,20	11,00	310
S4	12,20 – 37,20	25,00	510
S5	inf.	inf.	690

### HVSR n°8

*Prospetto delle determinazioni dei valori di  $V_s$  per i sismostrati riscontrati HVSR n°8*

<b>Sismostrato</b>	<b>Profondità (m)</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b><math>V_s</math> (m/s)</b>
S1	0,00 – 0,20	0,20	90
S2	0,20 – 2,20	2,00	140
S3	2,20 – 10,20	8,00	225
S4	10,20 – 29,20	19,00	460
S5	29,20 – 49,20	20,00	520
S4	49,20 – 84,20	35,00	640
S5	inf.	inf.	700

### HVSR n°9

*Prospetto delle determinazioni dei valori di  $V_s$  per i sismostrati riscontrati HVSR n°9*

<b>Sismostrato</b>	<b>Profondità (m)</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b><math>V_s</math> (m/s)</b>
S1	0,00 – 0,20	0,20	90
S2	0,20 – 9,70	9,50	210
S3	9,70 – 39,70	39,00	415
S4	39,70 – 59,70	20,00	560
S5	inf.	inf.	680

### HVSR n°10

*Prospetto delle determinazioni dei valori di  $V_s$  per i sismostrati riscontrati HVSR n°10*

<b>Sismostrato</b>	<b>Profondità (m)</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b><math>V_s</math> (m/s)</b>
S1	0,00 – 1,50	1,50	100
S2	1,50 – 7,50	6,00	140
S3	7,50 – 15,50	8,00	180
S4	15,50 – 30,00	14,50	310

## 9.8 Prospezioni sismiche M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves)

Al fine di definire le caratteristiche sismostratigrafiche dei litotipi presenti nell'area di studio e classificare sismicamente il suolo secondo la normativa vigente (D.M. 17.01.2018) sono state eseguite n°5 prospezioni sismiche del tipo **M.A.S.W.** (*Multichannel Analysis of Surface Waves* ovvero *Analisi Multicanale delle onde Superficiali di Rayleigh*) (da Mw3 a Mw7). In aggiunta, sono state prese in considerazione anche altre prospezioni sismiche dello stesso tipo eseguite precedentemente per altri lavori (Mw1 e Mw2). Di seguito si riportano le coordinate geografiche delle prospezioni sismiche superficiali M.A.S.W. eseguite nelle aree esaminate.

*Coordinate geografiche delle prospezioni M.A.S.W. eseguite nel territorio comunale di Forino*

Stendimento	Direzione	Latitudine	Longitudine
Mw 1	E-O	40.865772° N	14.756367° E
Mw 2	N-S	40.860912° N	14.747808° E
Mw 3	NE-SO	40.876778° N	14.735372° E
Mw 4	N-S	40.858232° N	14.710091° E
Mw 5	N-S	40.843140° N	14.722085° E
Mw 6	NO-SE	40.852632° N	14.759385° E
Mw 7	N-S	40.850742° N	14.736656° E

Le onde di Rayleigh sono polarizzate in un piano verticale (Fig. 60) e si generano in corrispondenza della superficie libera del mezzo quando viene sollecitato acusticamente. In questo tipo di onde le particelle descrivono un movimento di tipo ellittico la cui ampiezza decresce esponenzialmente con la distanza dalla superficie libera. L'asse maggiore delle ellissi è normale alla superficie libera del mezzo ed alla direzione di propagazione delle onde e le particelle compiono questo movimento ellittico in senso retrogrado rispetto alla direzione di propagazione delle onde che vengono generate. Le onde superficiali di Rayleigh, quando si propagano in un mezzo omogeneo, non presentano dispersione e la loro velocità è uguale a  $0.92V_s$ .

In un mezzo disomogeneo, quale la Terra, la loro velocità varia in funzione della lunghezza d'onda tra i limiti 0 e  $0.92V_s$ . La teoria della propagazione delle onde superficiali è ben conosciuta ed è descritta dettagliatamente da Ewing et al. (1957).

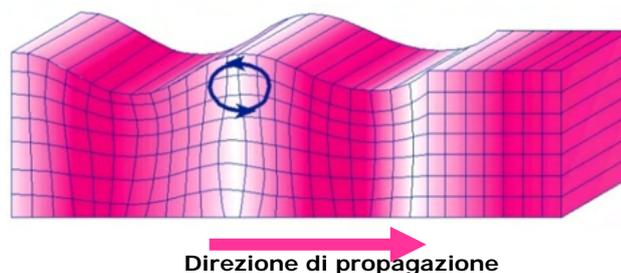


Fig. 60 - Rappresentazione grafica della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh caratterizzata dall'oscillazione polarizzata in un piano verticale e con movimento delle particelle retrogrado rispetto alla direzione di propagazione dell'onda.

La determinazione della velocità delle onde di taglio  $V_s$  tramite le misure delle onde superficiali di Rayleigh risulta particolarmente indicata per suoli altamente attenuanti e ambienti rumorosi poiché la percentuale di energia convertita in onde di Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde  $P$  (7%) ed  $S$  (26%). Inoltre l'ampiezza delle onde superficiali dipende da  $\sqrt{r}$  e non da  $r$  come per le onde di volume. In aggiunta, la propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla  $V_P$  e dalla densità, è funzione innanzitutto della  $V_s$ , parametro di fondamentale importanza per la caratterizzazione sismica di un sito secondo quanto previsto dalle recenti normative antisismiche (O.P.C.M. 3274/03; O.P.C.M. 3431/05; D.M. 17.01.2018).

Infatti, mentre la velocità delle onde  $P$  misurata in terreni saturi dipende in maniera sostanziale dalle vibrazioni trasmesse dal fluido interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale, la velocità delle onde  $S$  è caratteristica delle vibrazioni trasmesse dal solo scheletro solido e, pertanto, a differenza delle onde  $P$ , risulta rappresentativa delle reali proprietà meccaniche del terreno.

La proprietà fondamentale delle onde superficiali di Rayleigh, sulla quale si basa l'analisi per la determinazione delle  $V_s$ , è costituita dal fenomeno della dispersione che si manifesta in mezzi stratificati (Fig. 61).

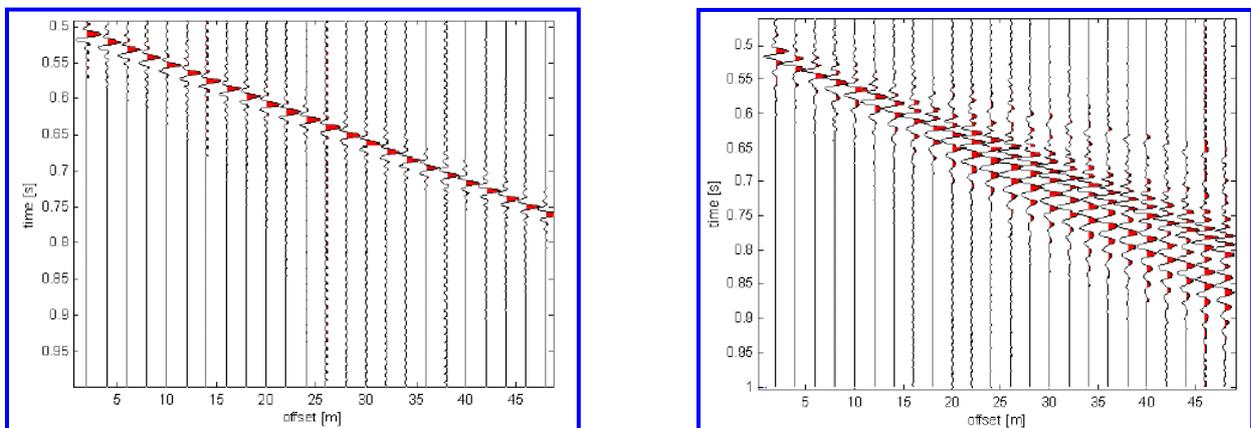


Fig. 61 – Segnali sismici che evidenziano (in rosso) le onde superficiali di Rayleigh in un mezzo non stratificato (a sinistra) e in un mezzo stratificato (a destra). Risulta evidente il fenomeno della dispersione delle onde superficiali di Rayleigh in un mezzo stratificato.

Pertanto, analizzando la curva di dispersione, ossia la variazione della velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della lunghezza d'onda (o della frequenza, che è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda), è possibile determinare la variazione della velocità delle onde di taglio con la profondità tramite processo di inversione (Fig. 62).

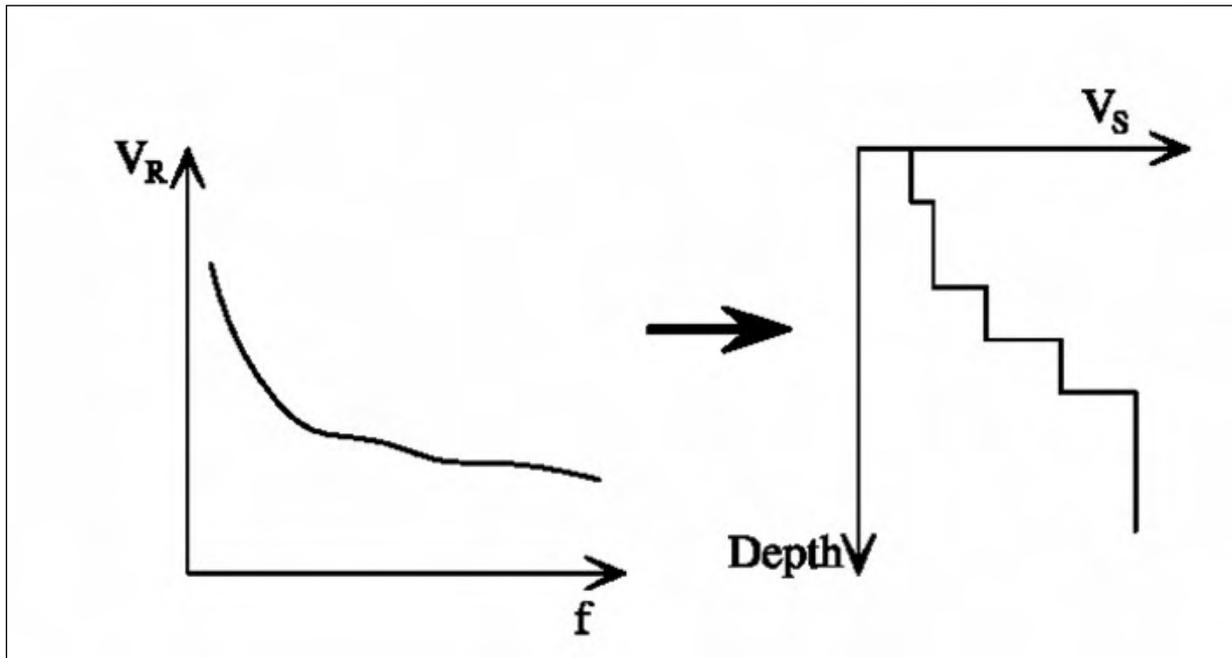


Fig. 62 – Velocità delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza (a sinistra) e profilo di velocità delle onde di taglio in funzione della profondità (a destra) ricavato tramite processo d'inversione.

Il metodo MASW (basato sull'analisi della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh) consente una dettagliata ricostruzione della distribuzione della velocità delle onde S nel sottosuolo. L'analisi multicanale delle onde superficiali di Rayleigh MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una efficiente ed accreditata metodologia sismica per la determinazione delle velocità delle onde di taglio  $V_s$ .

Tale metodo utilizza le onde superficiali di Rayleigh registrate da una serie di geofoni lungo uno stendimento rettilineo e collegati ad un comune sismografo multicanale. Le onde superficiali di Rayleigh, durante la loro propagazione vengono registrate lungo lo stendimento di geofoni e vengono successivamente analizzate attraverso complesse tecniche computazionali, simili alla tecnica SASW, basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato di terreno.

La metodologia per la realizzazione di una indagine sismica MASW prevede i seguenti passi fondamentali:

1. Ripetute acquisizioni multicanale dei segnali sismici, generati da una sorgente energizzante artificiale (maglio battente su piastra in alluminio), lungo uno stendimento rettilineo di sorgente-geofoni.
2. Estrazione del modo fondamentale di oscillazione dalle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh (una curva per ogni acquisizione).
3. Inversione delle curve di dispersione per ottenere un profilo verticale delle  $V_s$  nel punto medio di ogni stendimento geofonico).

Lo schema dello stendimento sismico è riprodotto nella seguente figura (Fig. 63).

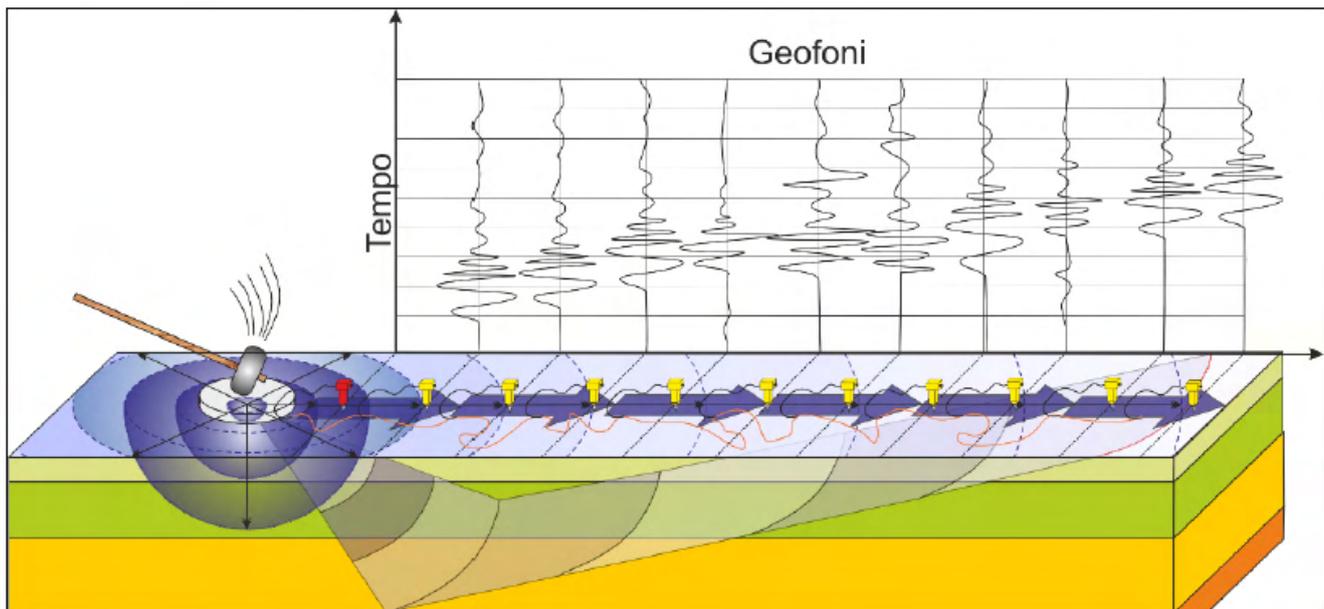


Fig. 63 – Schema dello stendimento sismico

Quando vengono generate onde sismiche usando una sorgente impattante come un martello su una piastra vengono generate sia onde di volume ( $P$  ed  $S$ ), sia onde di superficie (Rayleigh e Love), che si propagano in tutte le direzioni. Alcune di queste onde vengono riflesse e disperse quando incontrano oggetti superficiali o poco profondi (ad esempio, fondazioni di edifici, canali sotterranei, trovanti lapidei, ecc.) e diventano rumore.

Inoltre, vengono quasi sempre rilevate vibrazioni da rumore ambientale proveniente dal traffico veicolare, dall'attività industriale e, in generale, dall'attività umana.

Il vantaggio principale dell'approccio multicanale della tecnica MASW sta nella sua intrinseca capacità di distinguere tutte queste onde dovute al rumore e di isolarle dalle onde superficiali di Rayleigh evidenziando solo il modo fondamentale di oscillazione dei terreni.

L'isolamento del modo fondamentale di oscillazione si basa su molteplici caratteristiche sismiche dei segnali. Le proprietà della dispersione di tutti i tipi di onde (di volume e superficiali) sono visualizzate attraverso un metodo di trasformazione (basato sull'analisi spettrale dei segnali sismici) del campo d'onda che converte direttamente i segnali sismici acquisiti in una immagine dove un modello di dispersione è riconosciuto nella distribuzione dell'energia trasformata in oscillazioni (Fig. 64).

## Dispersion Image

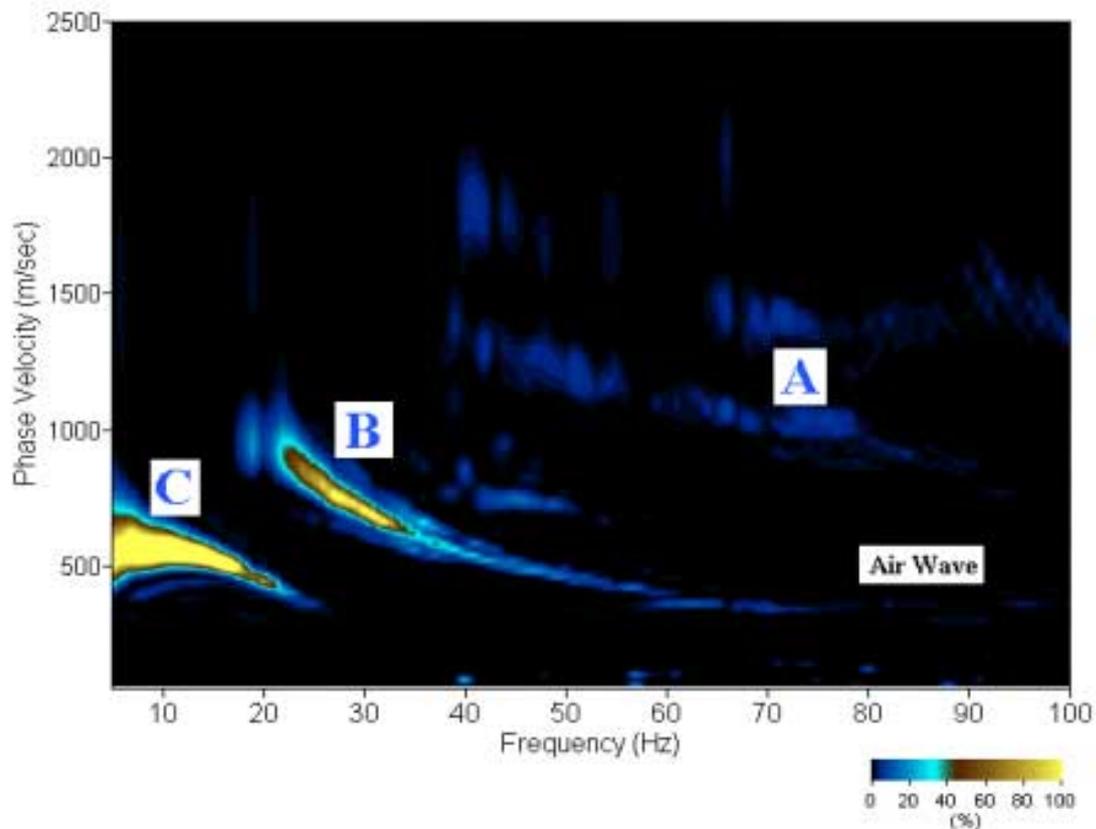


Fig. 64 – Curva di dispersione della velocità di fase in funzione della frequenza delle onde superficiali di Rayleigh relativa ai segnali sismici in Fig. 61. Il picco energetico in corrispondenza di C rappresenta, nel modello della dispersione, il modo fondamentale da estrarre. Il picco energetico in B rappresenta il primo modo mentre quello in A, poco evidente, rappresenterebbe il secondo modo.

Successivamente, il modo fondamentale (proprietà fondamentale della dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh) viene estratto da un modello specifico. Tutte le altre onde (riflesse, disperse, modi superiori delle onde superficiali, noise ambientale) vengono quindi rimosse durante il processo di elaborazione.

Gli stendimenti delle prospezioni sismiche M.A.S.W. sono stati eseguiti con le seguenti caratteristiche (Tab. 1):

Tab. 1 –Caratteristiche delle fasi di acquisizione relative agli stendimenti eseguiti

Prospezioni sismiche	Geofoni (n°)	Offset (m)	Spacing (m)	Lunghezza complessiva degli stendimenti (m)
M.A.S.W.	24	1,50	6,00	40,50

Le indagini sono state condotte mediante l'utilizzo di sismografo M.A.E. A6000-S 24 bit 36 canali, strumento compatto e versatile progettato e realizzato appositamente per eseguire indagini di prospezione sismica convenzionali e non convenzionali.

L'elevata dinamica (24 bit di risoluzione) unita alla notevole memoria per l'acquisizione, ne consente l'utilizzo per tecniche di indagine di tipo non convenzionale. Tali indagini risultano particolarmente adatte in aree fortemente antropizzate (aree urbane e industriali) con notevole presenza di rumore di fondo (noise).

La gestione dell'apparecchiatura è notevolmente semplificata dall'interfaccia grafica e dall'interazione con essa tramite il sistema di puntamento touch-screen, che consente di eseguire tutte le operazioni toccando con un pennino gli oggetti interessati direttamente sullo schermo. L'ambiente operativo dello strumento è quello di Microsoft Windows XP embedded.

La sorgente sismica è costituita da un impatto transiente verticale (maglio dal peso di 8 kg che batte su una piastra circolare in alluminio). Come trigger/starter è stato utilizzato un geofono verticale Geospace a 14Hz, posto in prossimità della piastra. Le oscillazioni del suolo sono state rilevate da 24 geofoni verticali (Geospace – 4.5Hz) posizionati lungo il profilo di indagine con offset e spacing predefiniti (Tab. 1).

La lunghezza complessiva dello stendimento geofonico è stata sufficiente a determinare la sismostratigrafia dei terreni nel sito prescelto fino alla profondità di 31,00 metri dal piano campagna di riferimento. Le acquisizioni dei segnali, di lunghezza temporale  $T=2.048$  s, sono state effettuate con passo di campionamento  $dt=0.5$  ms.

La frequenza di campionamento è data da:

$$f_{\text{campionamento}} = 1/dt = 2000 \text{ Hz}$$

La frequenza massima dei segnali, ovvero la frequenza di Nyquist, è data da:

$$f_{\text{Nyquist}} = 1/2dt = 1000 \text{ Hz.}$$

La frequenza minima dei segnali è data da:

$$f_{\text{min}} = 1/T = 0.488 \text{ Hz.}$$

L'elaborazione dei dati e l'inversione delle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh sono state effettuate con il programma *MASW 2007* dell'ing. Vitantonio Roma che ha permesso di eseguire l'intero processo di elaborazione di una sezione sismostratigrafica delle onde di taglio  $V_s$ .

Di seguito si riporta una sintesi dei risultati ottenuti con le prospezioni sismiche M.A.S.W. eseguite nel territorio comunale. Per una visione completa si rimanda al relativo allegato.

**M.A.S.W. Mw n° 1**

*Prospetto delle determinazioni dei valori di  $V_s$  per i sismostrati riscontrati M.A.S.W. n° 1*

<b>Sismostrato</b>	<b>Profondità (m)</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b><math>V_s</math> (m/s)</b>
S1	0,00 – 2,10	2,10	142
S2	2,10 – 3,50	1,40	221
S3	3,50 – 5,40	1,90	233
S4	5,40 – 7,80	2,40	246
S5	7,80 – 12,00	4,20	280
S6	12,00 – 17,60	5,60	321
S7	17,60 – 24,40	6,80	367
S8	24,40 – 30,50	6,10	436

**M.A.S.W. Mw n° 2**

*Prospetto delle determinazioni dei valori di  $V_s$  per i sismostrati riscontrati M.A.S.W. n° 2*

<b>Sismostrato</b>	<b>Profondità (m)</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b><math>V_s</math> (m/s)</b>
S1	0,00 – 1,00	1,00	91
S2	1,00 – 3,90	2,90	200
S3	3,90 – 7,70	3,80	256
S4	7,70 – 11,00	3,30	369
S5	11,00 – 17,80	6,80	401
S6	17,80 – 30,00	12,20	781

**M.A.S.W. Mw n° 3**

*Prospetto delle determinazioni dei valori di  $V_s$  per i sismostrati riscontrati M.A.S.W. n° 3*

<b>Sismostrato</b>	<b>Profondità (m)</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b><math>V_s</math> (m/s)</b>
S1	0,00 – 1,60	1,60	304
S2	1,60 – 3,00	1,60	759
S3	3,00 – 6,10	2,90	845
S4	6,10 – 10,30	4,20	1006
S5	10,30 – 14,20	3,90	1083
S6	14,20 – 19,40	5,20	1110
S7	19,40 – 24,30	4,90	1244
S8	24,30 – 30,10	5,80	1289

**M.A.S.W. Mw n° 4**

*Prospetto delle determinazioni dei valori di  $V_s$  per i sismostrati riscontrati M.A.S.W. n° 4*

<b>Sismostrato</b>	<b>Profondità (m)</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b><math>V_s</math> (m/s)</b>
S1	0,00 – 3,80	3,80	980
S2	3,80 – 8,90	5,10	1306
S3	8,90 – 14,70	5,80	1381
S4	14,70 – 22,20	7,50	1470
S5	22,20 – 30,30	8,10	1572

**M.A.S.W. Mw n°5**

*Prospetto delle determinazioni dei valori di  $V_s$  per i sismostrati riscontrati M.A.S.W. n°5*

<b>Sismostrato</b>	<b>Profondità (m)</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b><math>V_s</math> (m/s)</b>
S1	0,00 – 1,50	1,50	267
S2	1,50 – 2,50	1,00	755
S3	2,50 – 4,30	1,80	888
S4	4,30 – 8,50	4,20	972
S5	8,50 – 12,90	4,40	1046
S6	12,90 – 18,00	5,10	1064
S7	18,00 – 23,30	5,30	1173
S8	23,30 – 30,10	6,80	1189

**M.A.S.W. Mw n°6**

*Prospetto delle determinazioni dei valori di  $V_s$  per i sismostrati riscontrati M.A.S.W. n°6*

<b>Sismostrato</b>	<b>Profondità (m)</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b><math>V_s</math> (m/s)</b>
S1	0,00 – 2,90	2,90	882
S2	2,90 – 10,70	7,80	924
S3	10,70 – 19,00	8,30	933
S4	19,00 – 26,60	7,60	1020
S5	26,60 – 34,40	7,80	1149

**M.A.S.W. Mw n°7**

*Prospetto delle determinazioni dei valori di  $V_s$  per i sismostrati riscontrati M.A.S.W. n°7*

<b>Sismostrato</b>	<b>Profondità (m)</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b><math>V_s</math> (m/s)</b>
S1	0,00 – 2,50	2,30	310
S2	2,30 – 4,20	1,90	344
S3	4,20 – 6,90	2,70	407
S4	6,90 – 10,40	3,50	492
S5	10,40 – 14,70	4,30	577
S6	14,70 – 19,40	4,70	621
S7	19,40 – 24,70	5,30	639
S8	24,70 – 30,80	6,10	680

## 10. Risposta sismica locale

Lo studio sugli effetti di sito è un aspetto fondamentale nella valutazione e mitigazione del rischio sismico. Tale studio si effettua in termini di risposta sismica locale, partendo dal concetto di amplificazione del moto sismico che si origina dal basamento roccioso (definito *bedrock* sismico) e che si propaga all'interno di un deposito sino a raggiungere la superficie.

Valutare questi effetti non è sempre del tutto facile anche perché, in molti casi, l'amplificazione è dovuta ai cosiddetti fenomeni di risonanza nei terreni stratificati posti al di sopra del *bedrock*, di riflessione e rifrazione delle onde sismiche nelle interfacce di discontinuità e tra mezzi a diversa densità, dove le onde vengono per così dire "intrappolate" e successivamente trasmesse allo strato più superficiale generando così onde di tipo Love e di Rayleigh. A questi, poi, si aggiunge l'effetto di focalizzazione del raggio sismico nelle zone morfologicamente più acclive.

Sul territorio italiano la valutazione degli effetti della risposta sismica locale viene fatta sulla base delle vigenti norme tecniche per le costruzioni pubblicate in *GU n.42 del 20/02/2018 - Suppl. Ordinario n. 8*. Le condizioni del sito di riferimento rigido in generale non corrispondono, dunque, a quelle effettive. È necessario, pertanto, tenere conto delle condizioni stratigrafiche del volume di terreno interessato dall'opera ed anche delle condizioni topografiche, perché entrambi questi fattori concorrono a modificare l'azione sismica in superficie rispetto a quella attesa su un sito rigido con superficie orizzontale. Tali modifiche, in ampiezza, durata e contenuto in frequenza, sono il risultato della *risposta sismica locale*, cioè l'azione sismica quale emerge in "superficie" a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza subite trasmettendosi dal substrato rigido. Le modifiche sopra citate corrispondono a:

- *effetti stratigrafici*, legati alla successione stratigrafica, alle proprietà meccaniche dei terreni, alla geometria del contatto tra il substrato e i terreni sovrastanti ed alla geometria dei contatti tra gli strati di terreno (coefficienti  $S_s$  e  $C_c$ );
- *effetti topografici*, legati alla configurazione topografica del piano campagna. I fenomeni di amplificazione cresta-base aumentano in proporzione al rapporto tra l'altezza del rilievo e la sua larghezza (coefficiente  $S_T$ ).

Gli effetti della risposta sismica locale possono essere valutati con metodi semplificati. In tal caso si attribuisce il sito ad una delle categorie di sottosuolo definite nella Tabella 3.2.II delle NTC e ad una delle categorie topografiche definite nella Tabella 3.2.IV delle NTC.

## 10.1 Categoria di sottosuolo

Il D.M. 17 gennaio 2018, al *Capitolo 3.2.2 (Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche)*, prevede una classificazione del sito in funzione sia della velocità delle onde S nella copertura che dello spessore della stessa (Fig. 65).

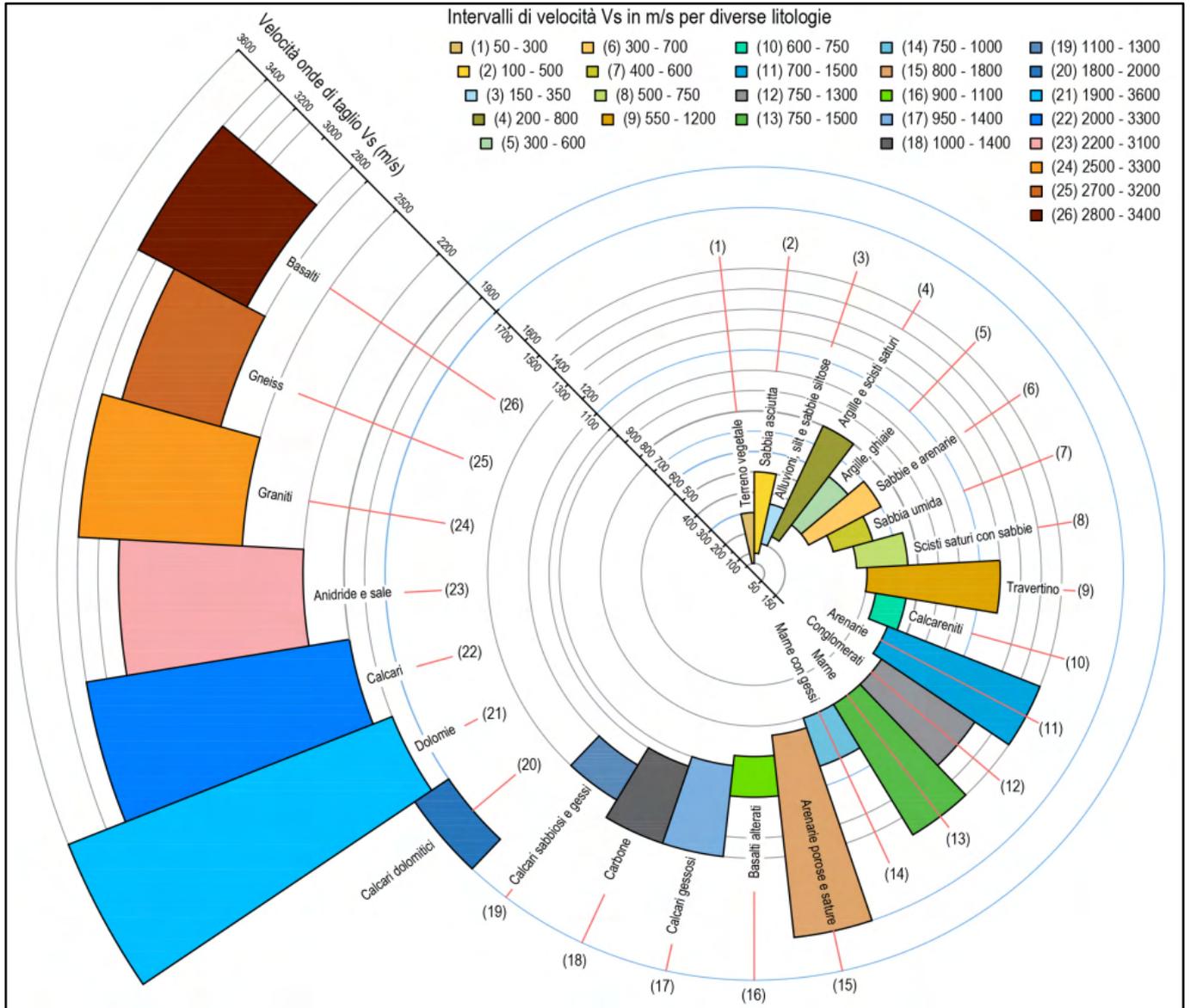


Fig. 65 – Intervalli tipici di velocità delle onde sismiche di taglio Vs per diverse tipologie di terreni.

Esso propone l'adozione di un sistema di caratterizzazione geofisica del profilo stratigrafico del suolo, mediante cinque tipologie di suoli (A, B, C, D, E - Tabella 3.2.II), per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare, da individuare in relazione ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio ( $V_{S,eq}$ ).

Per situazioni riconducibili alle categorie definite in Tab. 3.2.II di cui al § 3.2.2 (Fig. 65) si può fare riferimento ad un approccio semplificato basato sui valori di velocità di propagazione delle onde di taglio, Vs, che costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo di cui al § 6.2.2.

Tabella 3.2.II delle NTC – Categorie di sottosuolo

Classe	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

In tal caso si calcola la velocità equivalente con la seguente espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}} (m/s)$$

con:

$h_i$ : spessore in metri dell' $i$ -esimo strato di terreno;

$V_{s,i}$ : velocità dell'onda di taglio media nell' $i$ -esimo strato;

$N$ : numero di strati;

$H$ : profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s. Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Mentre per tutti quei casi non rientranti è richiesta una specifica analisi della risposta sismica locale, così come previsto al § 7.11.3.

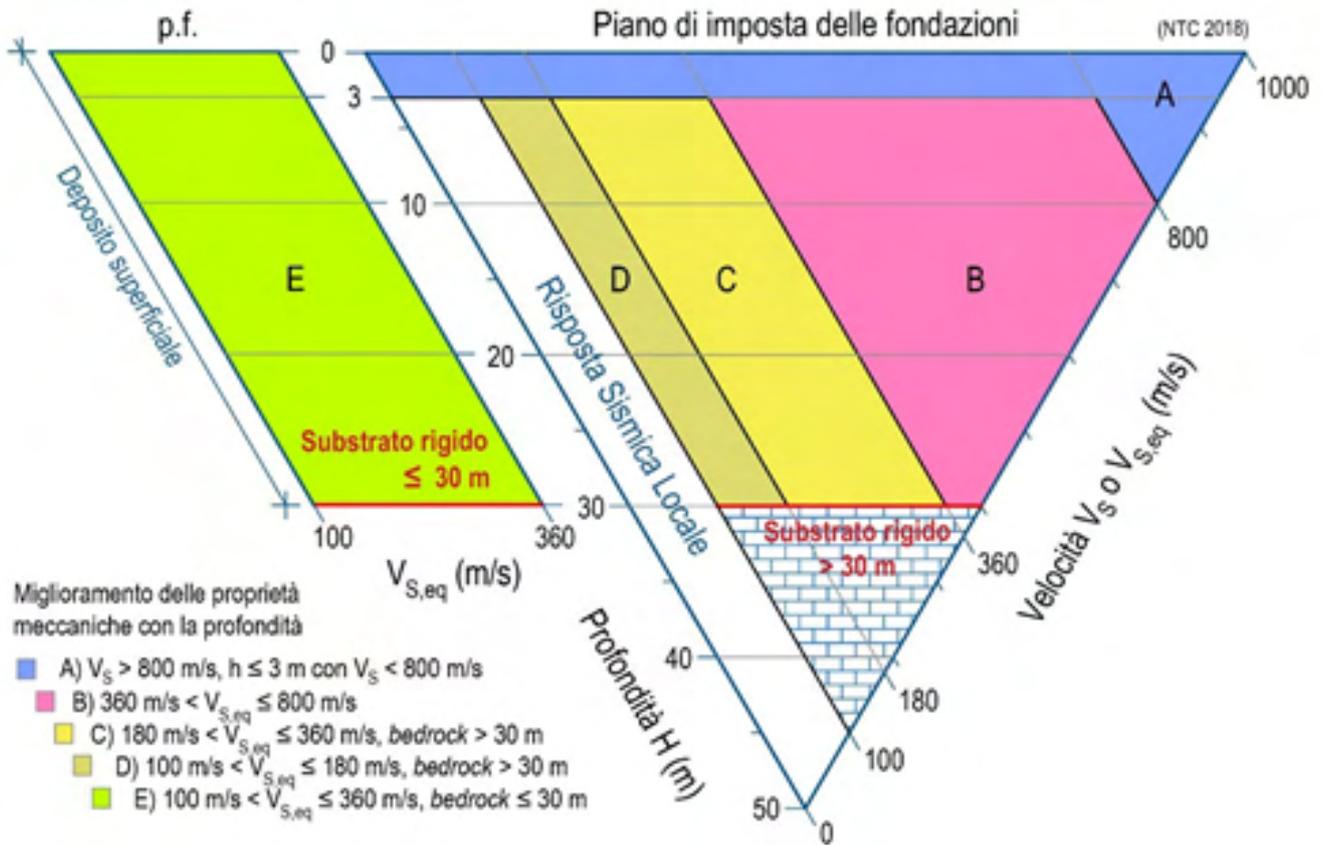


Fig. 65 - Diagramma per le categorie di sottosuolo secondo i riferimenti del § 3.2.2 delle NTC 2018.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione (Fig. 66).

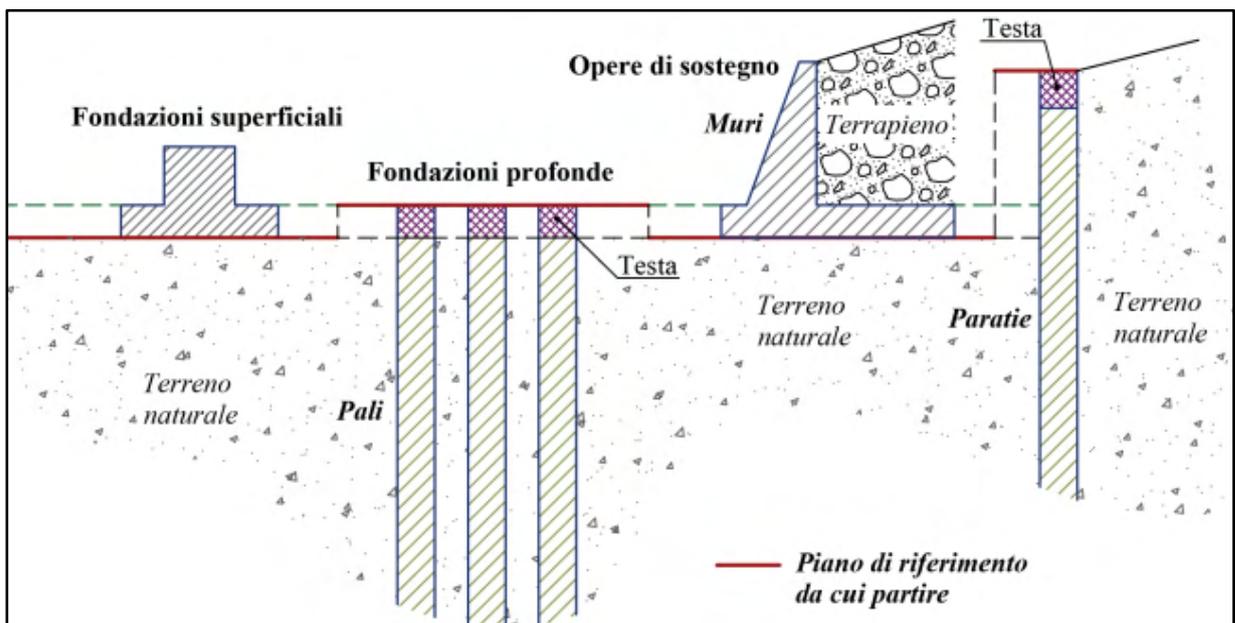


Fig. 66 – Piano di riferimento per la determinazione della categoria di sottosuolo  
Schemi di riferimento richiamati al § 3.2.2 delle NTC 2018.

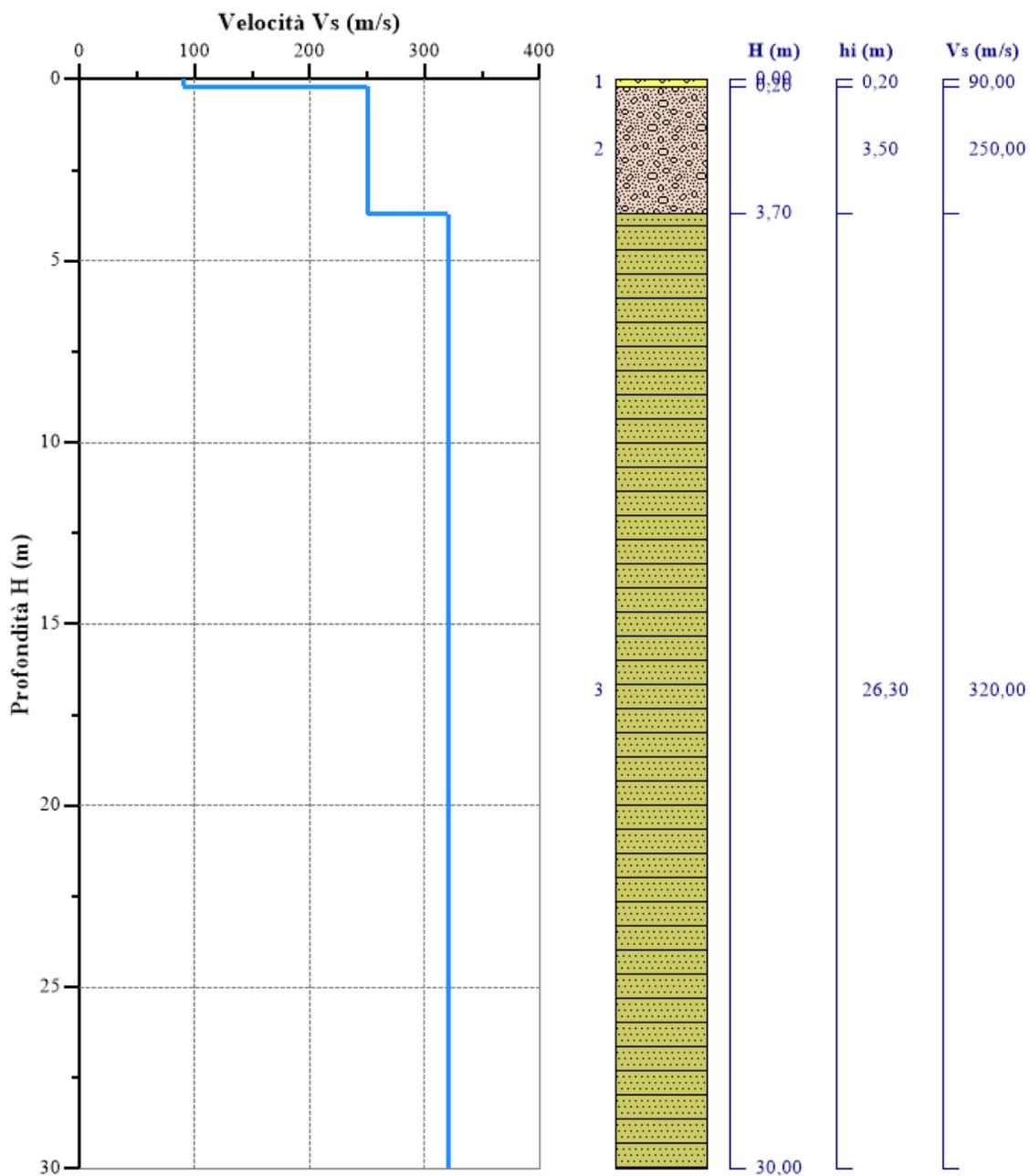
Di seguito sono riportate, secondo le indicazioni predisposte dalla normativa vigente, le operazioni di calcolo effettuate per la determinazione della categoria di sottosuolo sulla base delle elaborazioni delle prospezioni sismiche *HVSR* e *M.A.S.W.* eseguite e disponibili nel territorio comunale di Forino.

***HVSR 1 - Valori utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 alle NTC 2018).***

Nr.	H (m)	hi (m)	Vs (m/s)	H <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> /Vs (s)
1	0,20	0,20	90,00	0,20	0,20	0,002222
2	3,70	3,50	250,00	3,70	3,50	0,014000
3	30,00	26,30	320,00	30,00	26,30	0,082188

Vs,30 = **304,85** m/s

Categoria di sottosuolo: **C**

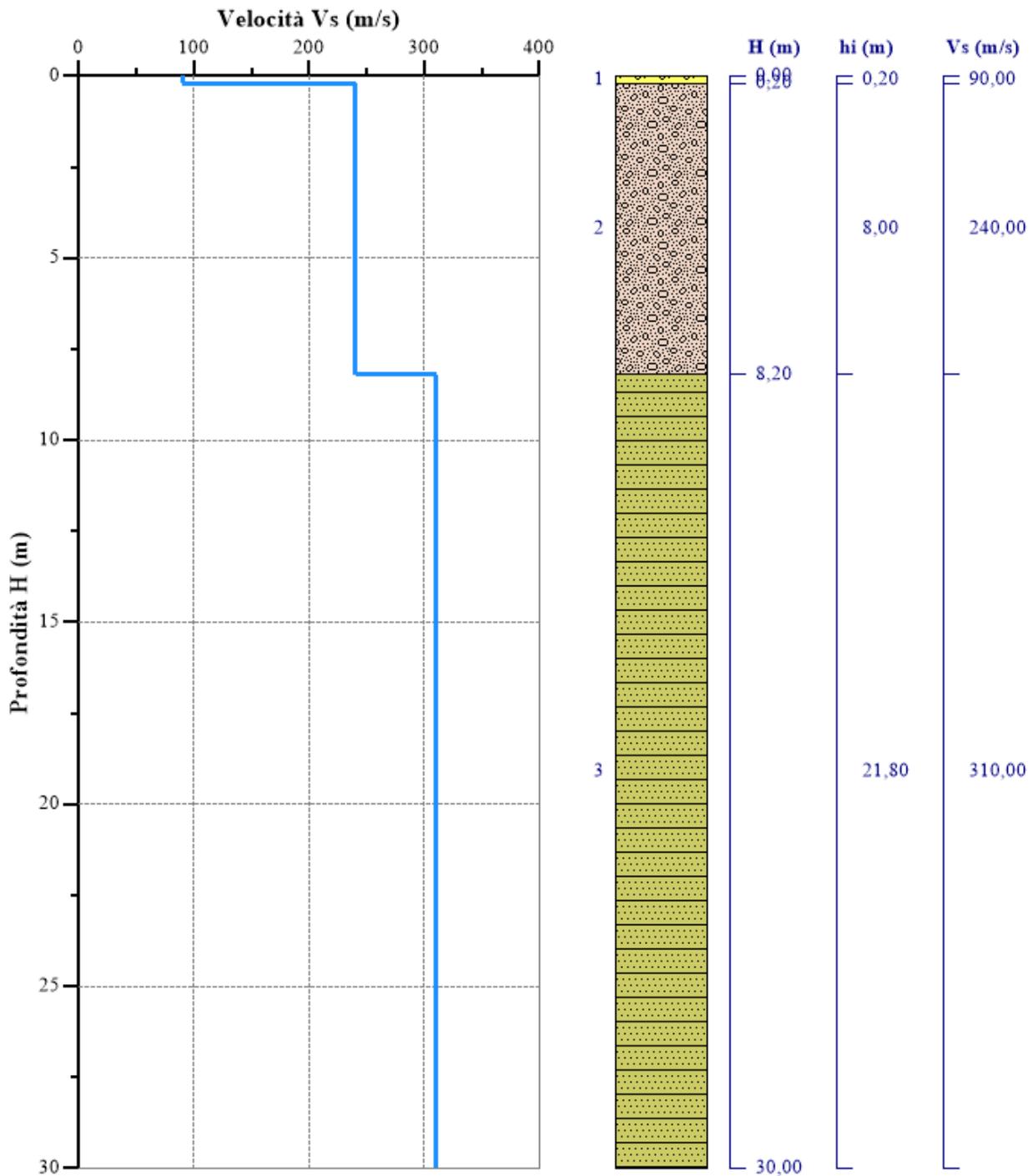


**HVSR 2 - Valori utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 alle NTC 2018).**

Nr.	H (m)	hi (m)	Vs (m/s)	H <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> /Vs (s)
1	0,20	0,20	90,00	0,20	0,20	0,002222
2	8,20	8,00	240,00	8,20	8,00	0,033333
3	30,00	21,80	310,00	30,00	21,80	0,070323

Vs,30 = **283,34** m/s

Categoria di sottosuolo: **C**

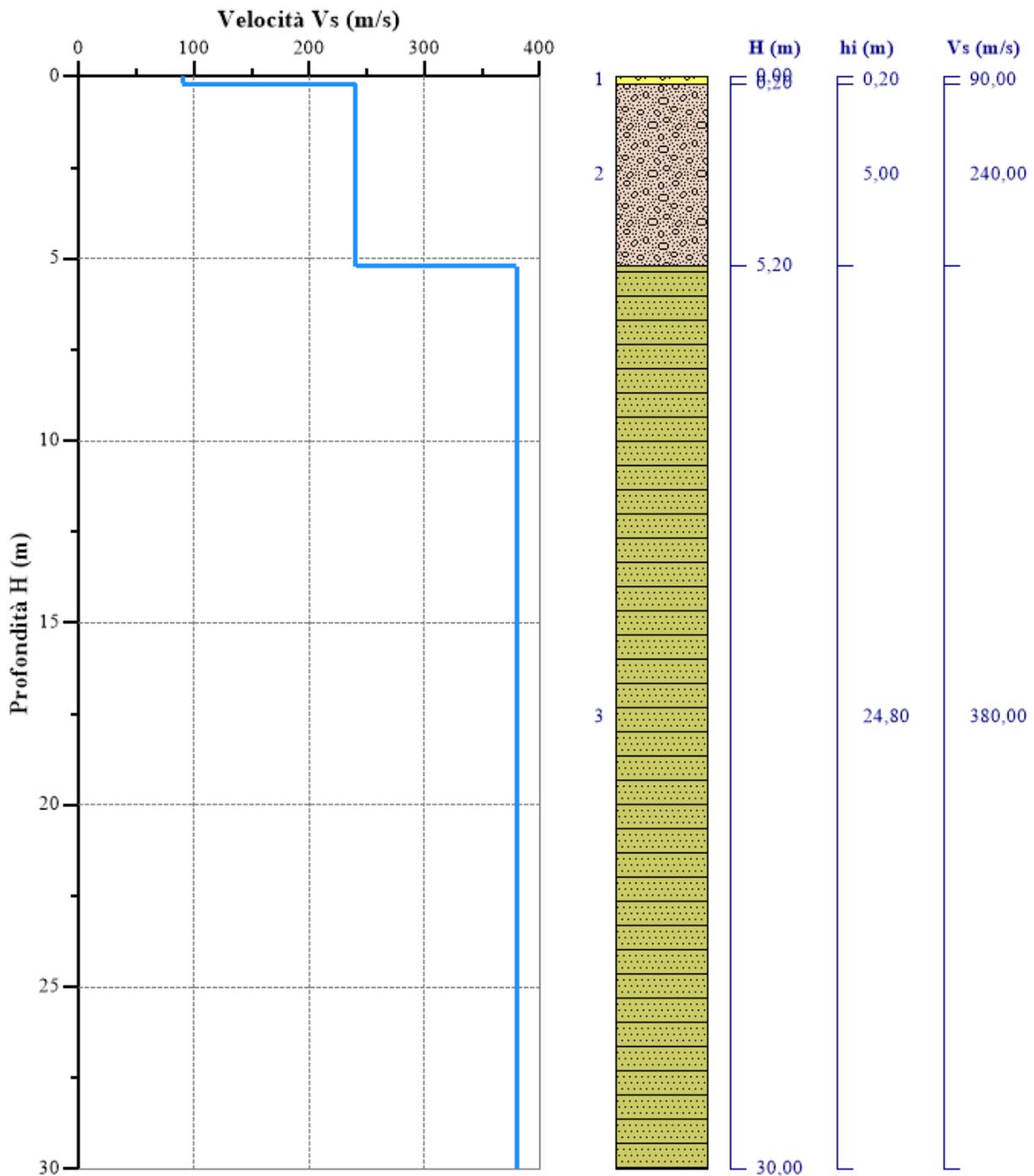


**HVSR 3 - Valori utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 alle NTC 2018).**

Nr.	H (m)	hi (m)	Vs (m/s)	H <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> /Vs (s)
1	0,20	0,20	90,00	0,20	0,20	0,002222
2	5,20	5,00	240,00	5,20	5,00	0,020833
3	30,00	24,80	380,00	30,00	24,80	0,065263

Vs,30 = **339,68** m/s

Categoria di sottosuolo: **C**

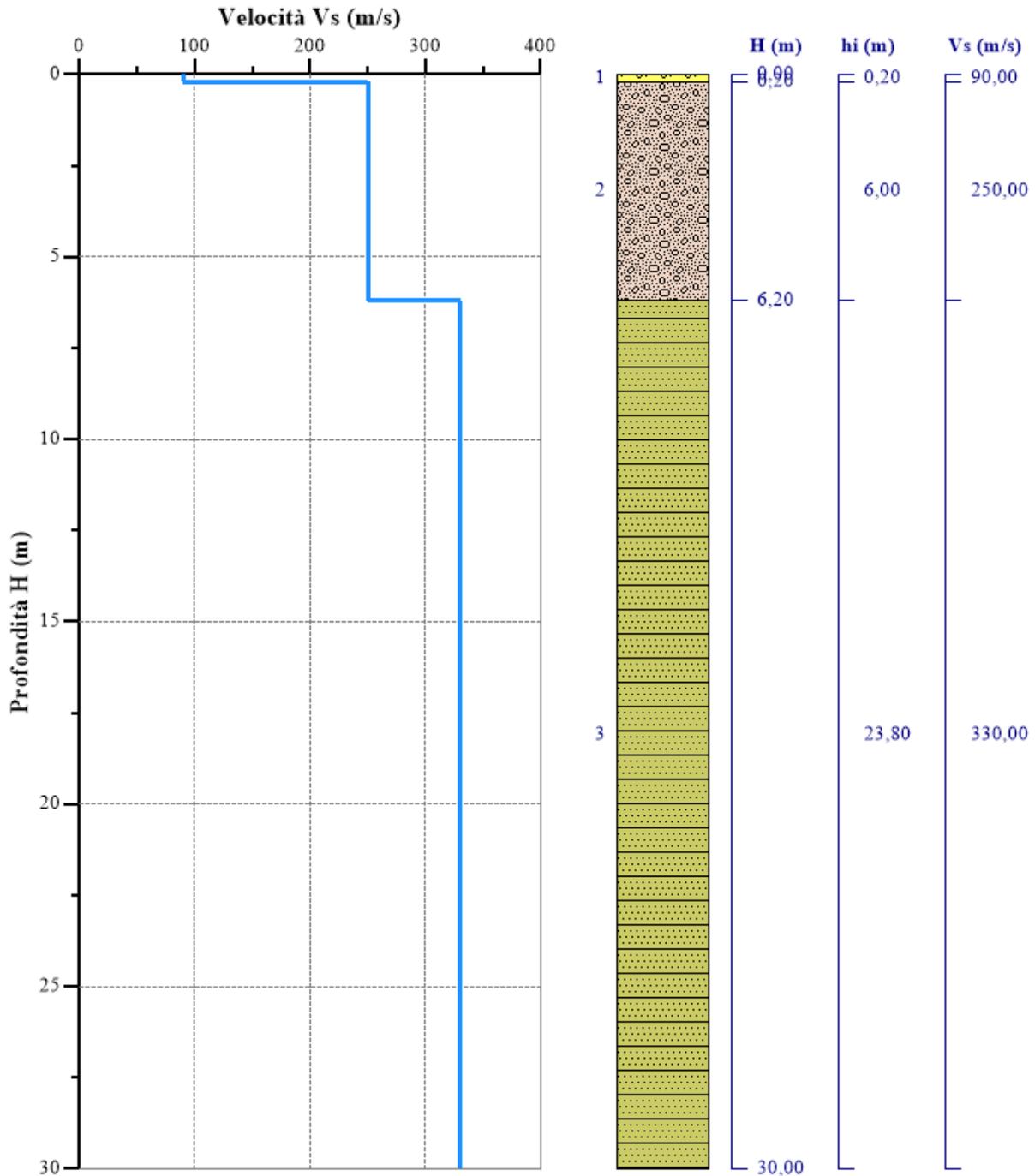


**HVSR 4 - Valori utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 alle NTC 2018).**

Nr.	H (m)	hi (m)	Vs (m/s)	H <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> /Vs (s)
1	0,20	0,20	90,00	0,20	0,20	0,002222
2	6,20	6,00	250,00	6,20	6,00	0,024000
3	30,00	23,80	330,00	30,00	23,80	0,072121

Vs,30 = **305,05** m/s

Categoria di sottosuolo: **C**

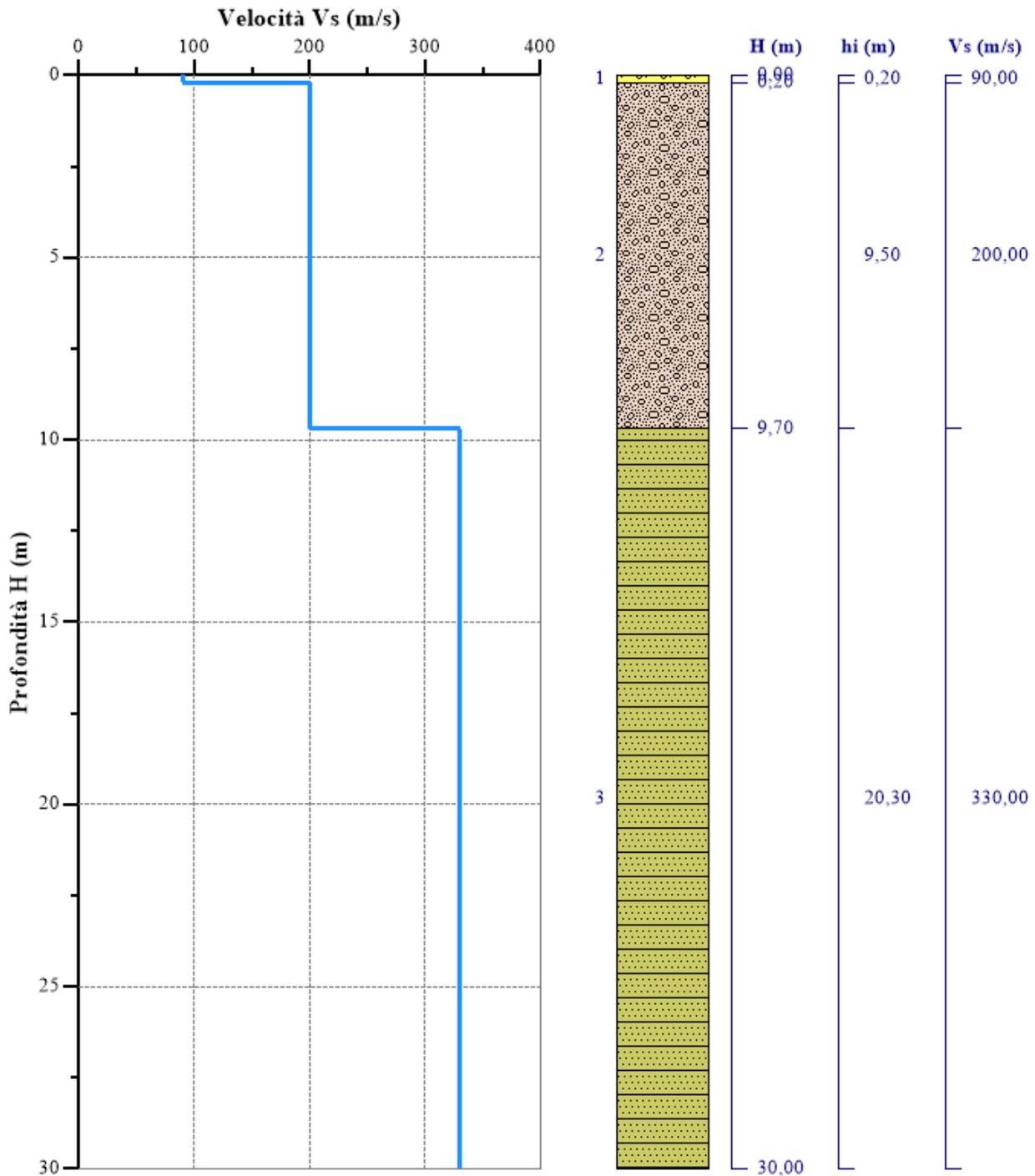


**HVSR 5 - Valori utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 alle NTC 2018).**

Nr.	H (m)	hi (m)	Vs (m/s)	H <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> /Vs (s)
1	0,20	0,20	90,00	0,20	0,20	0,002222
2	9,70	9,50	200,00	9,70	9,50	0,047500
3	30,00	20,30	330,00	30,00	20,30	0,061515

Vs,30 = **269,69** m/s

Categoria di sottosuolo: **C**

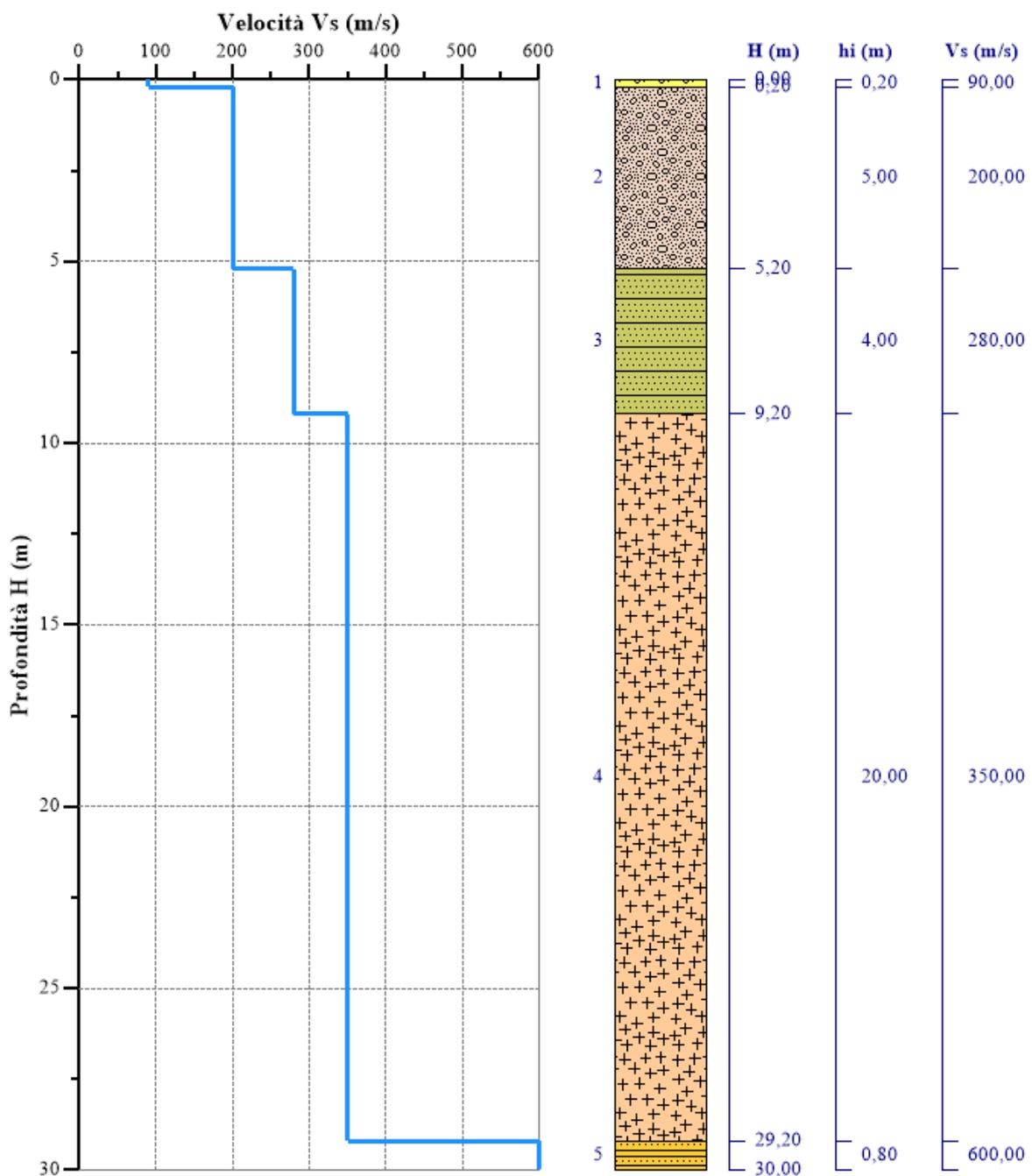


**HVSR 6 - Valori utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 alle NTC 2018).**

Nr.	H (m)	hi (m)	Vs (m/s)	H <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> /Vs (s)
1	0,20	0,20	90,00	0,20	0,20	0,002222
2	5,20	5,00	200,00	5,20	5,00	0,025000
3	9,20	4,00	280,00	9,20	4,00	0,014286
4	29,20	20,00	350,00	29,20	20,00	0,057143
5	30,00	0,80	600,00	30,00	0,80	0,001333

Vs,30 = **300,05** m/s

Categoria di sottosuolo: **C**

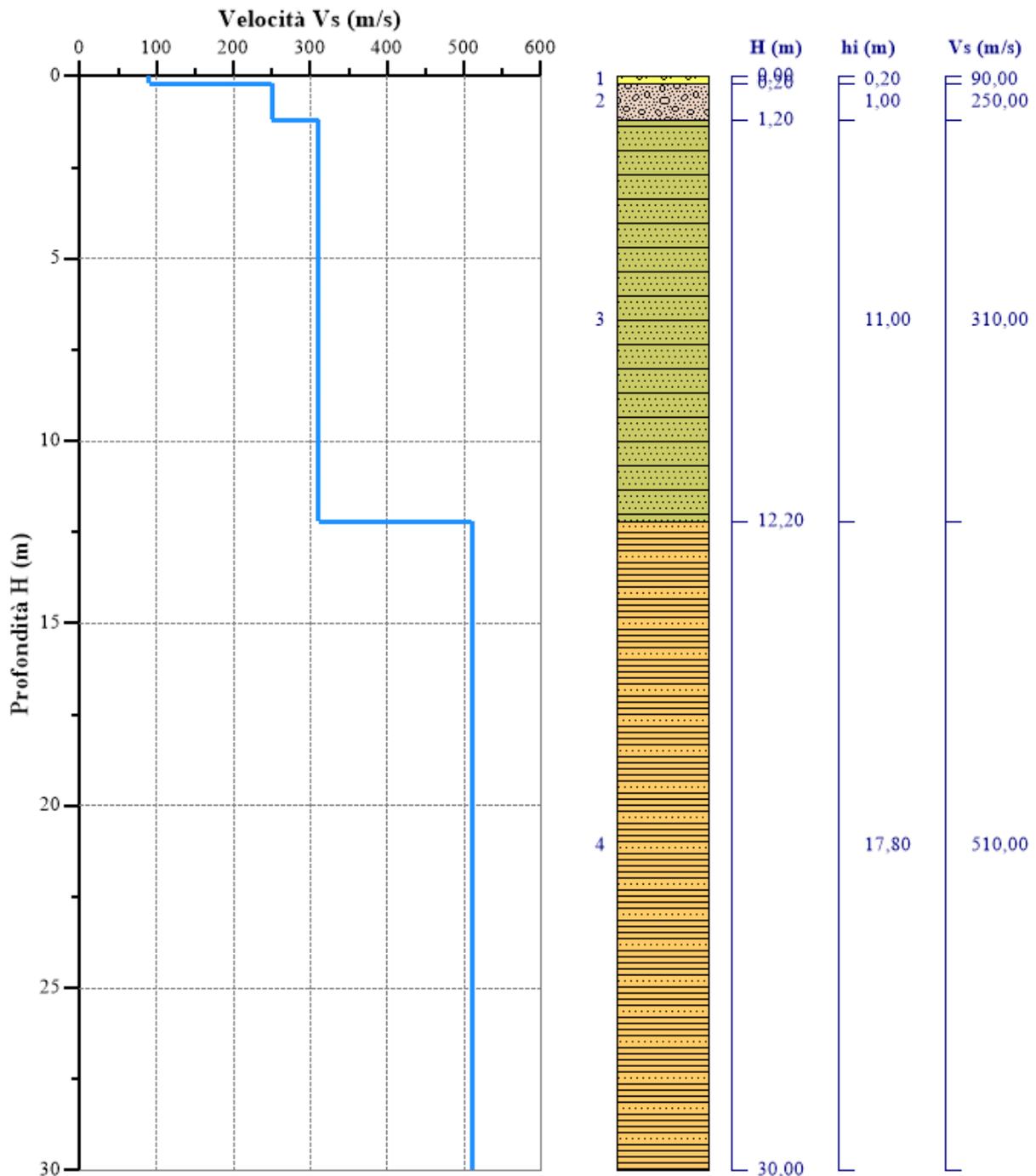


**HVSR 7 - Valori utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 alle NTC 2018).**

Nr.	H (m)	hi (m)	Vs (m/s)	H <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> /Vs (s)
1	0,20	0,20	90,00	0,20	0,20	0,002222
2	1,20	1,00	250,00	1,20	1,00	0,004000
3	12,20	11,00	310,00	12,20	11,00	0,035484
4	30,00	17,80	510,00	30,00	17,80	0,034902

Vs,30 = **391,60** m/s

Categoria di sottosuolo: **B**

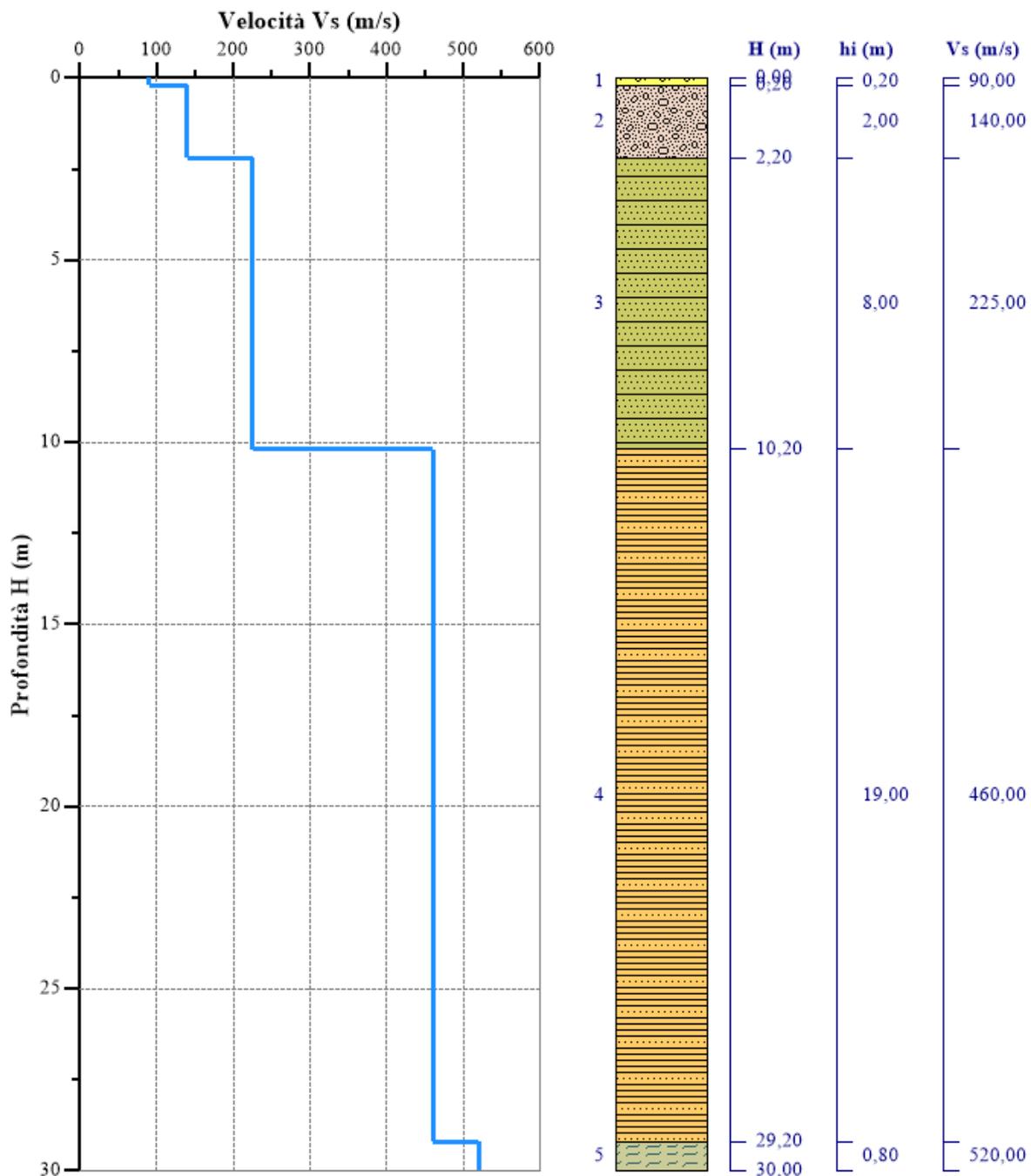


**HVSR 8 - Valori utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 alle NTC 2018).**

Nr.	H (m)	hi (m)	Vs (m/s)	H <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> /Vs (s)
1	0,20	0,20	90,00	0,20	0,20	0,002222
2	2,20	2,00	140,00	2,20	2,00	0,014286
3	10,20	8,00	225,00	10,20	8,00	0,035556
4	29,20	19,00	460,00	29,20	19,00	0,041304
5	30,00	0,80	520,00	30,00	0,80	0,001538

Vs,30 = **316,10** m/s

Categoria di sottosuolo: **C**

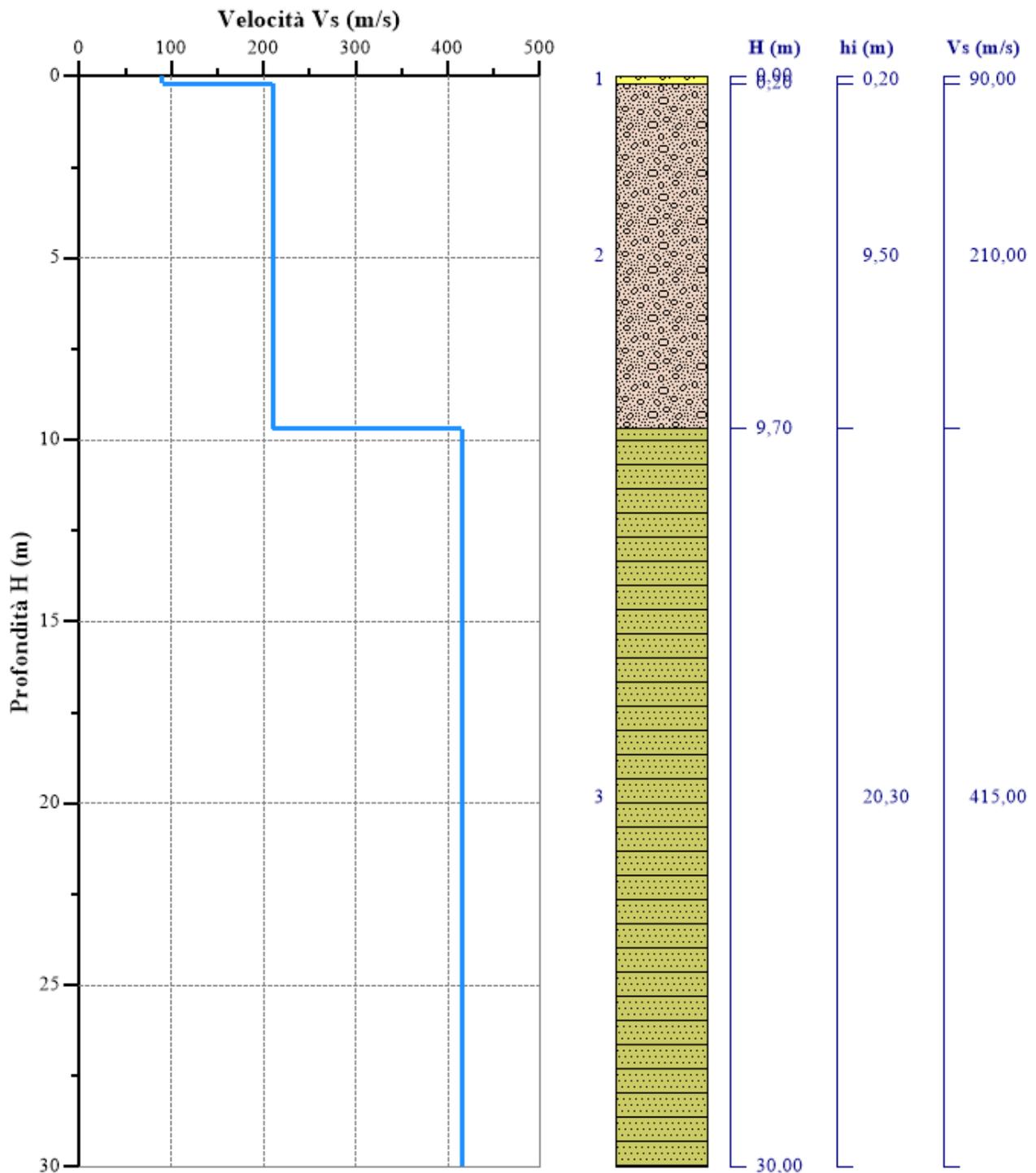


**HVSR 9 - Valori utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 alle NTC 2018).**

Nr.	H (m)	hi (m)	Vs (m/s)	H <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> /Vs (s)
1	0,20	0,20	90,00	0,20	0,20	0,002222
2	9,70	9,50	210,00	9,70	9,50	0,045238
3	30,00	20,30	415,00	30,00	20,30	0,048916

Vs,30 = **311,28** m/s

Categoria di sottosuolo: **C**

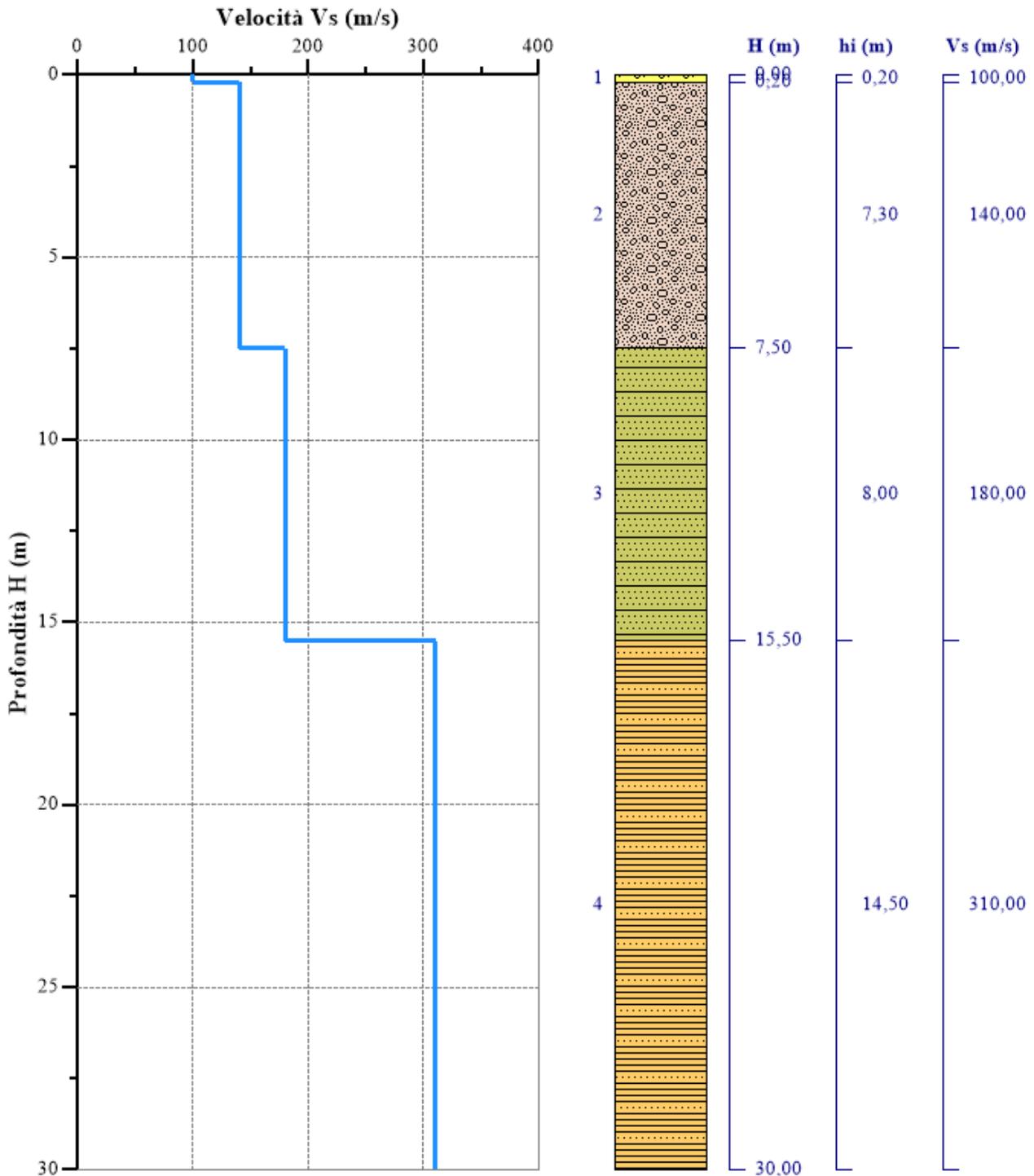


**HVSR 10 - Valori utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 alle NTC 2018).**

Nr.	H (m)	hi (m)	Vs (m/s)	H <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> /Vs (s)
1	0,20	0,20	100,00	0,20	0,20	0,002000
2	7,50	7,30	140,00	7,50	7,30	0,052143
3	15,50	8,00	180,00	15,50	8,00	0,044444
4	30,00	14,50	310,00	30,00	14,50	0,046774

Vs,30 = **206,38** m/s

Categoria di sottosuolo: **B**

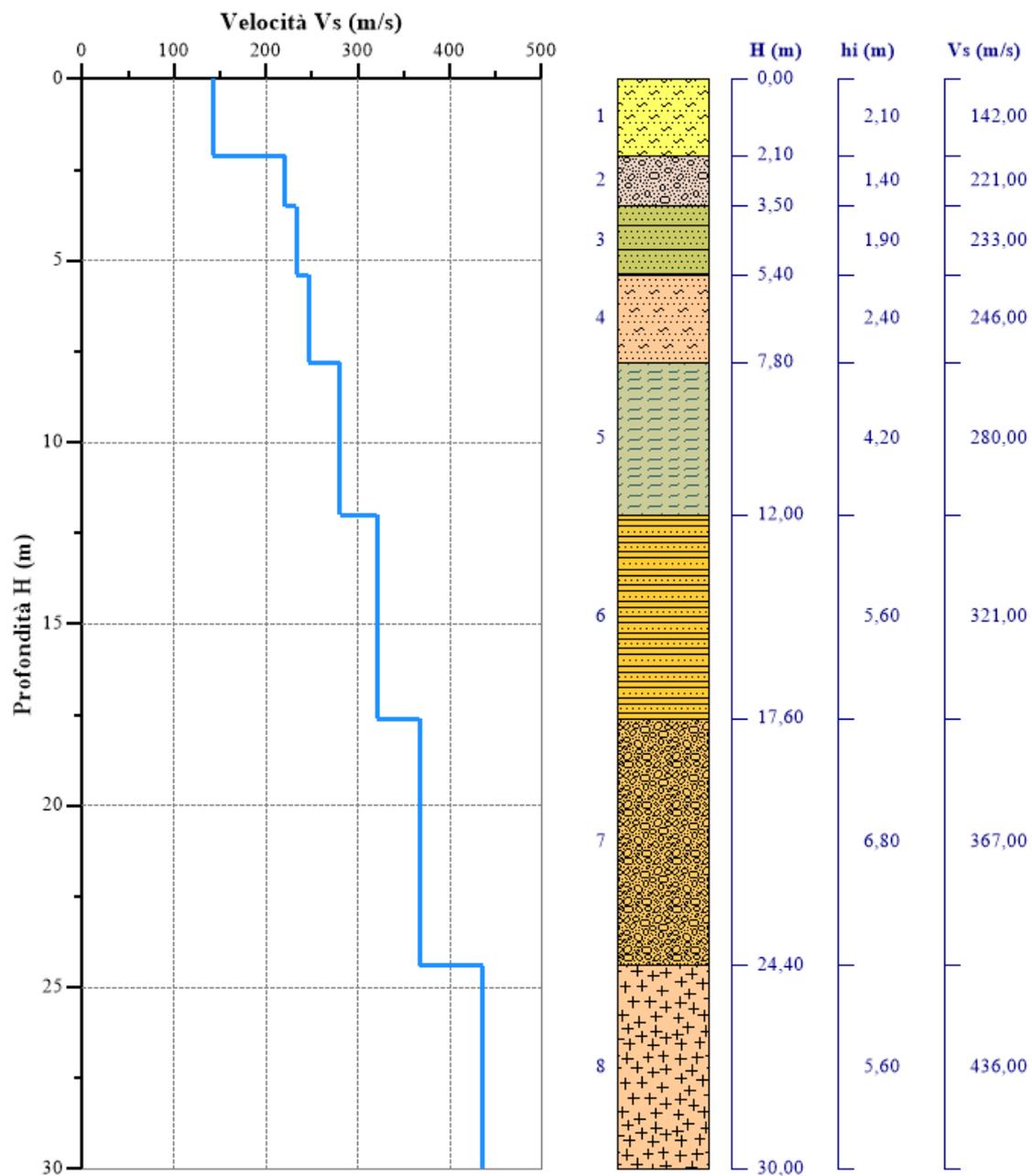


**MASW 1 - Valori utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 alle NTC 2018).**

Nr.	H (m)	hi (m)	Vs (m/s)	H <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> /Vs (s)
1	2,10	2,10	142,00	2,10	2,10	0,014789
2	3,50	1,40	221,00	3,50	1,40	0,006335
3	5,40	1,90	233,00	5,40	1,90	0,008155
4	7,80	2,40	246,00	7,80	2,40	0,009756
5	12,00	4,20	280,00	12,00	4,20	0,015000
6	17,60	5,60	321,00	17,60	5,60	0,017445
7	24,40	6,80	367,00	24,40	6,80	0,018529
8	30,00	5,60	436,00	30,00	5,60	0,012844

Vs,30 = **291,68** m/s

Categoria di sottosuolo: **C**

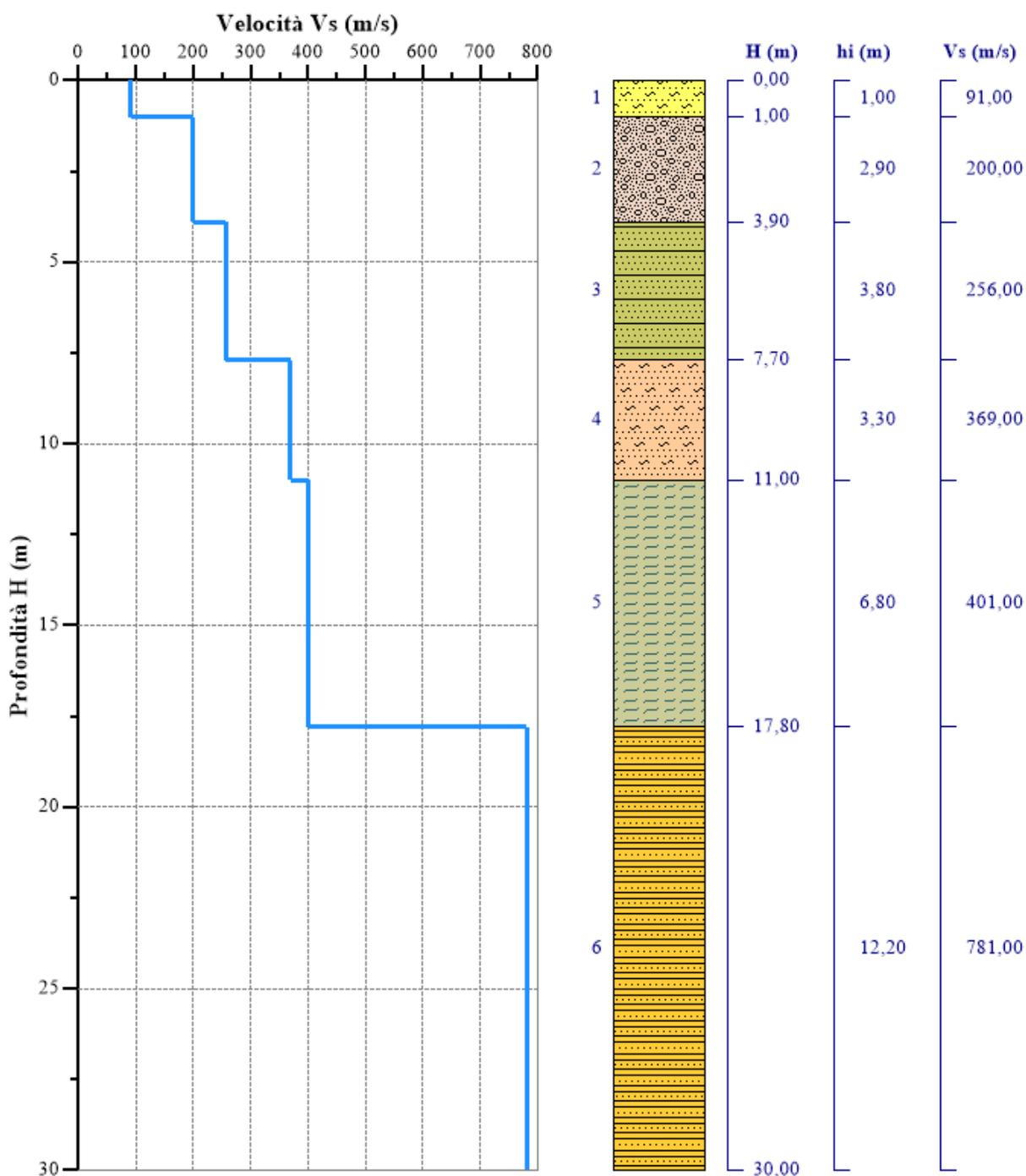


**MASW 2 - Valori utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 alle NTC 2018).**

Nr.	H (m)	hi (m)	Vs (m/s)	H <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> /Vs (s)
1	1,00	1,00	91,00	1,00	1,00	0,010989
2	3,90	2,90	200,00	3,90	2,90	0,014500
3	7,70	3,80	256,00	7,70	3,80	0,014844
4	11,00	3,30	369,00	11,00	3,30	0,008943
5	17,80	6,80	401,00	17,80	6,80	0,016958
6	30,00	12,20	781,00	30,00	12,20	0,015621

Vs,30 = **366,50** m/s

Categoria di sottosuolo: **B**

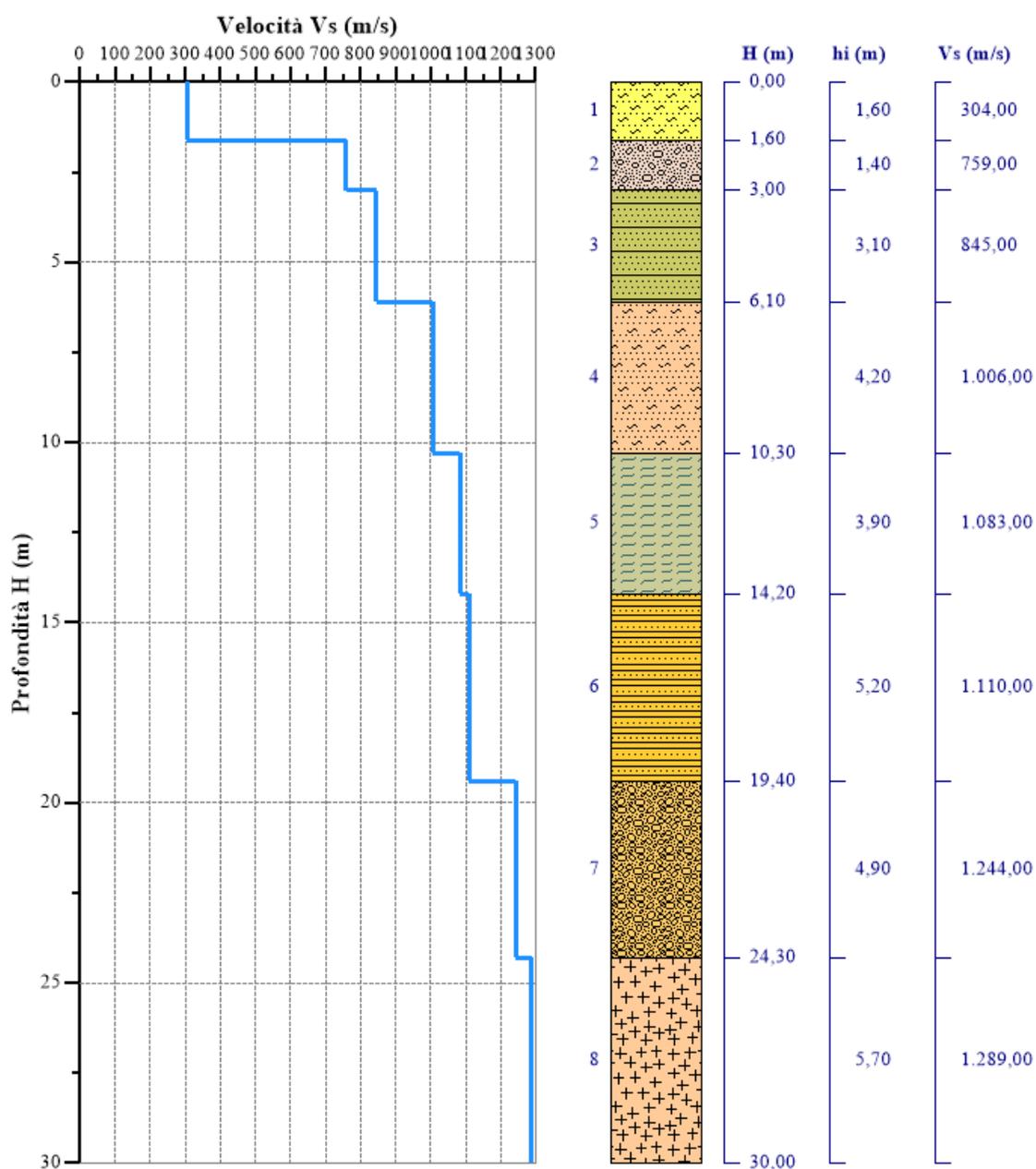


**MASW 3 - Valori utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 alle NTC 2018).**

Nr.	H (m)	hi (m)	Vs (m/s)	H <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> /Vs (s)
1	1,60	1,60	304,00	1,60	1,60	0,014789
2	3,00	1,40	759,00	3,00	1,40	0,006335
3	6,10	3,10	845,00	6,10	3,10	0,008155
4	10,30	4,20	1.006,00	10,30	4,20	0,009756
5	14,20	3,90	1.083,00	14,20	3,90	0,015000
6	19,40	5,20	1.110,00	19,40	5,20	0,017445
7	24,30	4,90	1.244,00	24,30	4,90	0,018529
8	30,00	5,70	1.289,00	30,00	5,70	0,012844

Vs,30 = > 800 m/s

Categoria di sottosuolo: **A**

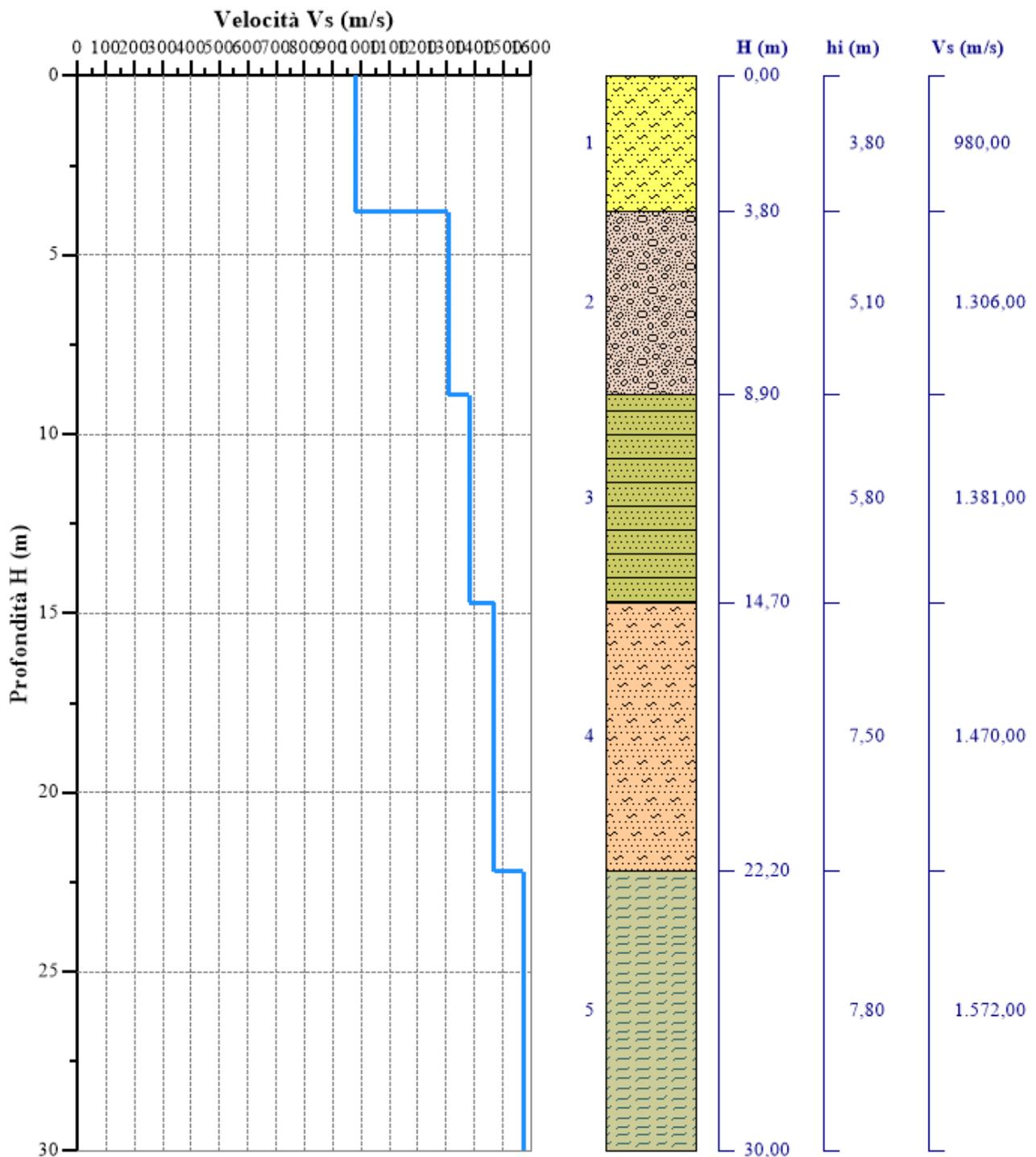


**MASW 4 - Valori utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 alle NTC 2018).**

Nr.	H (m)	hi (m)	Vs (m/s)	H <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> /Vs (s)
1	3,80	3,80	980,00	3,80	3,80	0,014789
2	8,90	5,10	1.306,00	8,90	5,10	0,006335
3	14,70	5,80	1.381,00	14,70	5,80	0,008155
4	22,20	7,50	1.470,00	22,20	7,50	0,009756
5	30,00	7,80	1.572,00	30,00	7,80	0,015000

Vs,30 = > 800 m/s

Categoria di sottosuolo: **A**

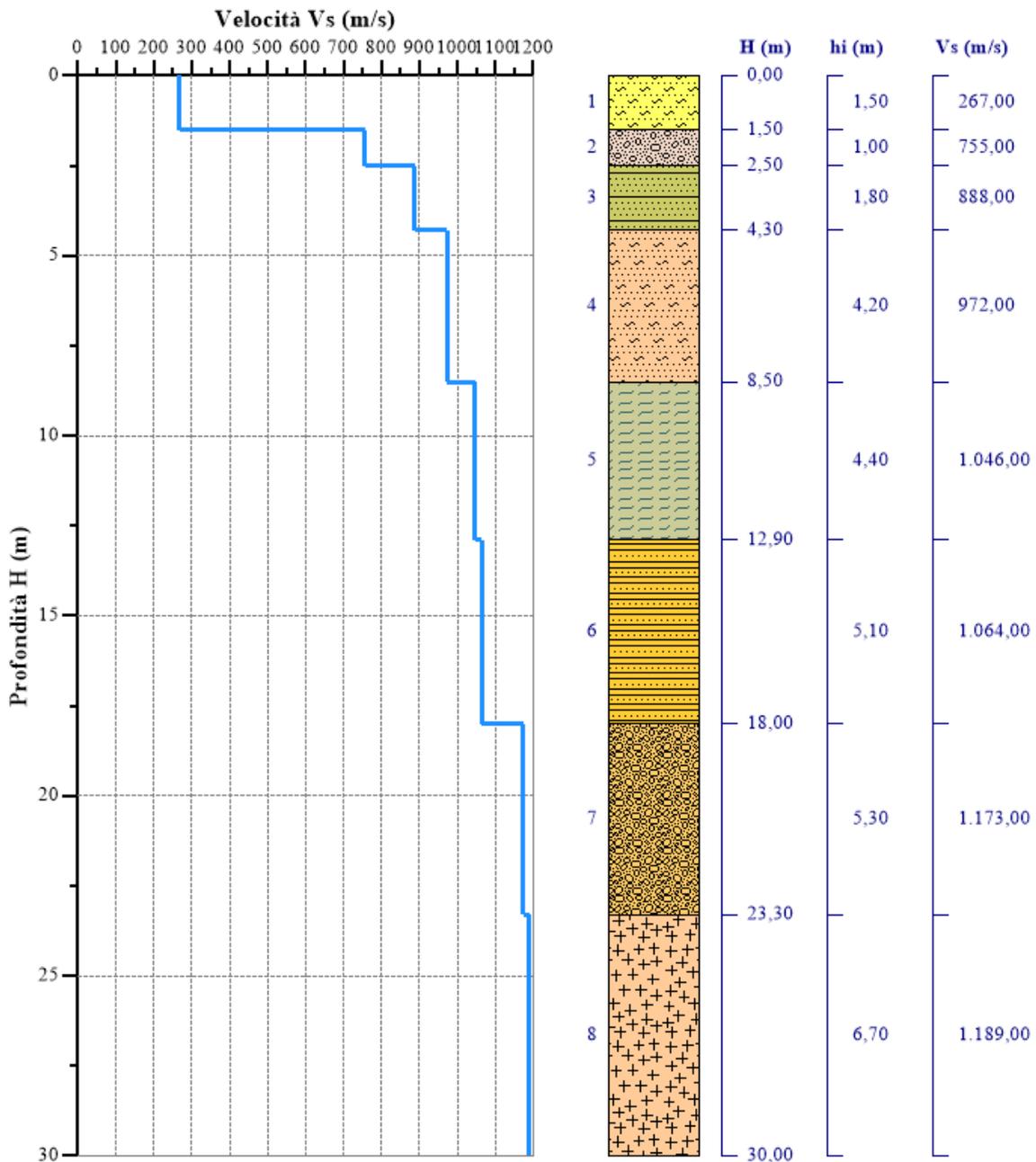


**MASW 5 - Valori utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 alle NTC 2018).**

Nr.	H (m)	hi (m)	Vs (m/s)	H <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> /Vs (s)
1	1,50	1,50	267,00	1,50	1,50	0,014789
2	2,50	1,00	755,00	2,50	1,00	0,006335
3	4,30	1,80	888,00	4,30	1,80	0,008155
4	8,50	4,20	972,00	8,50	4,20	0,009756
5	12,90	4,40	1.046,00	12,90	4,40	0,015000
6	18,00	5,10	1.064,00	18,00	5,10	0,017445
7	23,30	5,30	1.173,00	23,30	5,30	0,018529
8	30,00	6,70	1.189,00	30,00	6,70	0,012844

Vs,30 = > **800 m/s**

Categoria di sottosuolo: **A**

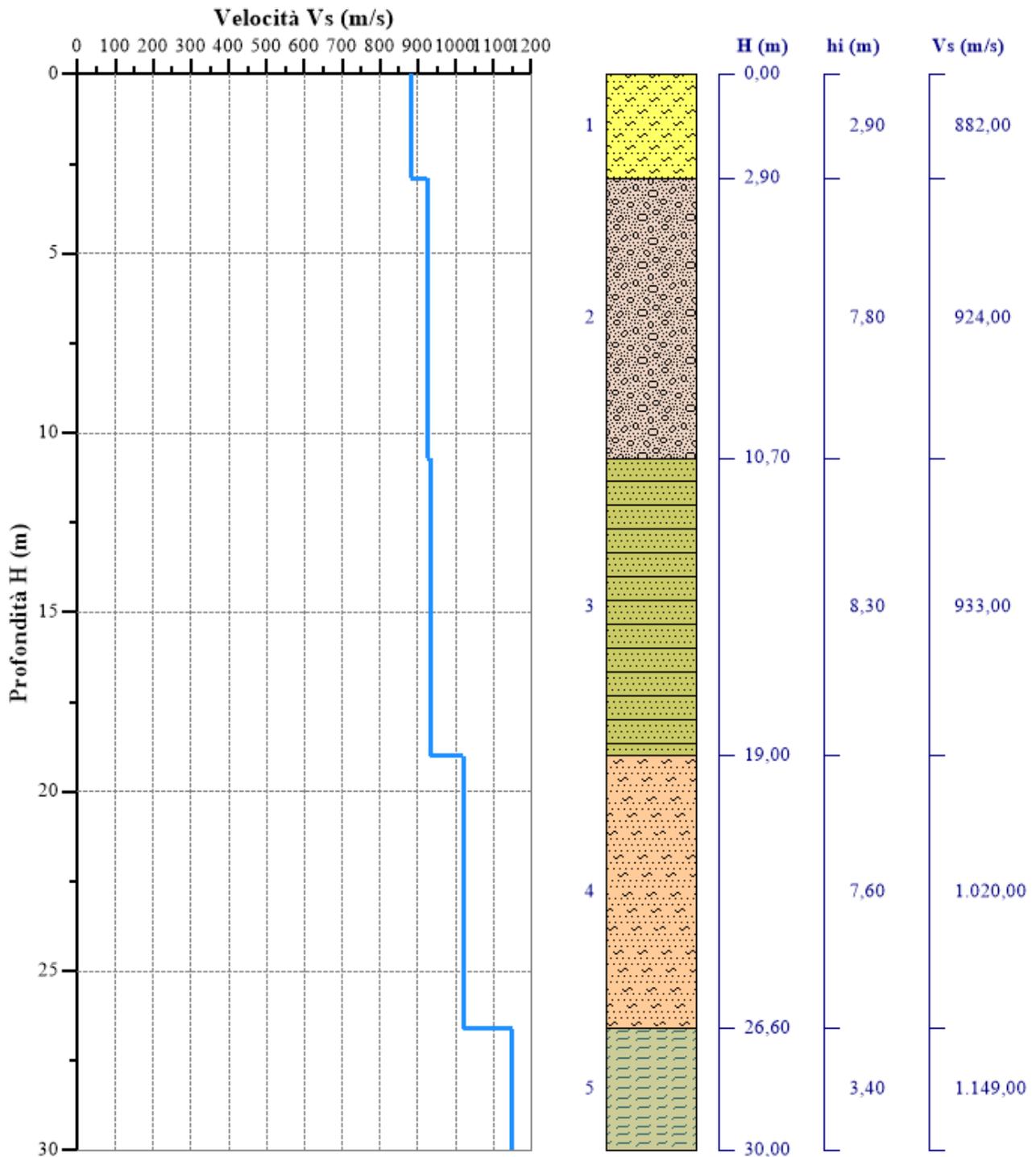


**MASW 6 - Valori utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 alle NTC 2018).**

Nr.	H (m)	hi (m)	Vs (m/s)	H <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> /Vs (s)
1	2,90	2,90	882,00	2,90	2,90	0,014789
2	10,70	7,80	924,00	10,70	7,80	0,006335
3	19,00	8,30	933,00	19,00	8,30	0,008155
4	26,60	7,60	1.020,00	26,60	7,60	0,009756
5	30,00	3,40	1.149,00	30,00	3,40	0,015000

Vs,30 = > 800 m/s

Categoria di sottosuolo: **A**

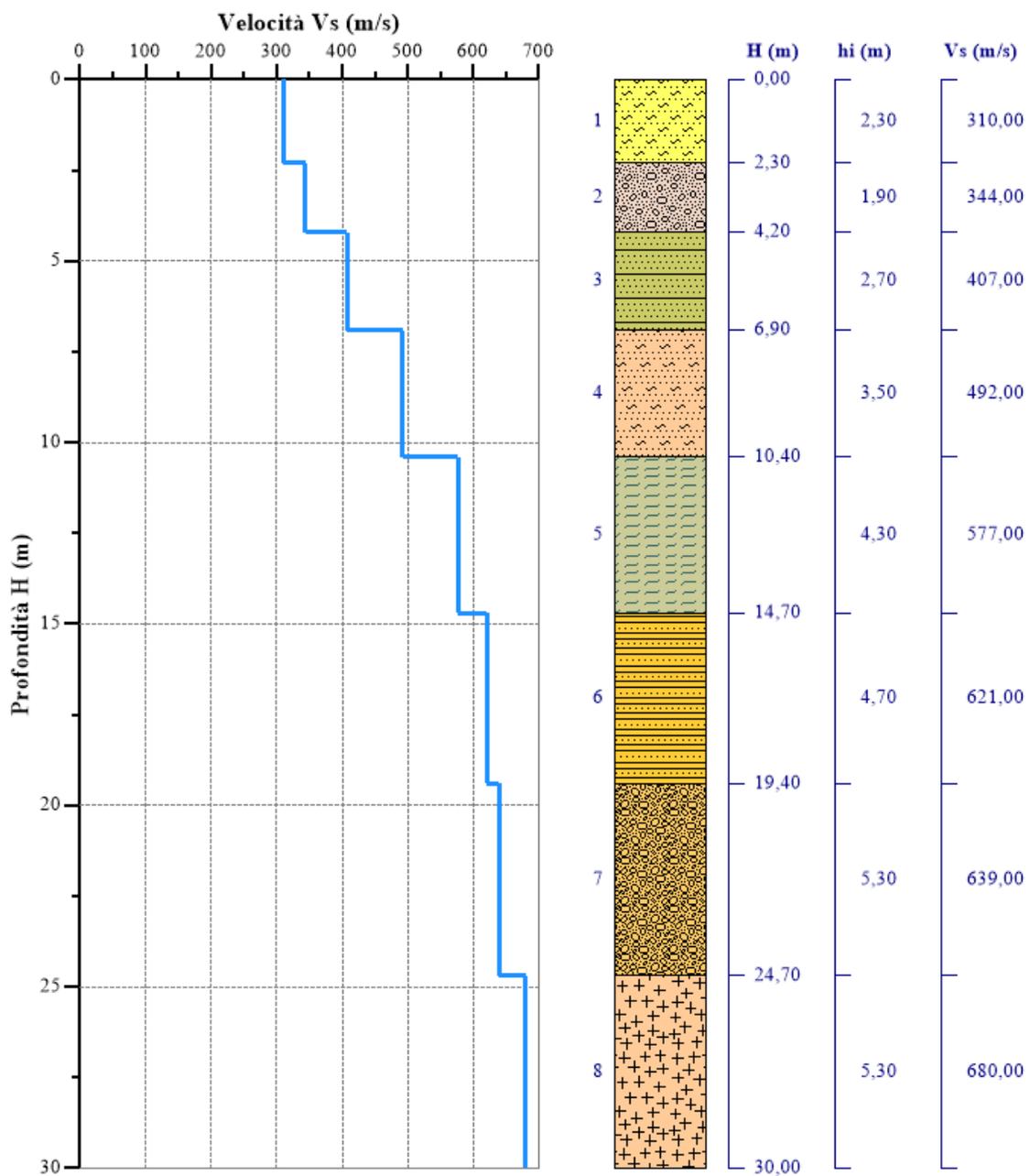


**MASW 7 - Valori utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 alle NTC 2018).**

Nr.	H (m)	hi (m)	Vs (m/s)	H <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> /Vs (s)
1	2,30	2,30	310,00	2,30	2,30	0,007419
2	4,20	1,90	344,00	4,20	1,90	0,005523
3	6,90	2,70	407,00	6,90	2,70	0,006634
4	10,40	3,50	492,00	10,40	3,50	0,007114
5	14,70	4,30	577,00	14,70	4,30	0,007452
6	19,40	4,70	621,00	19,40	4,70	0,007568
7	24,70	5,30	639,00	24,70	5,30	0,008294
8	30,00	5,30	680,00	30,00	5,30	0,007794

Vs,30 = **519,04** m/s

Categoria di sottosuolo: **B**



## 10.2 Categoria topografica

Relativamente alla categoria topografica, le NTC 2018 stabiliscono che per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

**Tabella 3.2.IV delle NTC – Categorie topografiche**

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Il territorio comunale di Forino è caratterizzato principalmente da due tipologie di superficie topografica: quella appartenente alla Categoria Topografica T1 (superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ ) che rappresenta circa il 58% del territorio, e quella riconducibile alla Categoria Topografica T2 (pendii con inclinazione media  $i > 15^\circ$ ) che occupa la restante parte del comprensorio comunale.

## 10.3 Condizioni di amplificazione stratigrafica e topografica

Come già specificato nelle pagine precedenti, la pericolosità sismica di base viene determinata facendo riferimento alle ipotesi di sito di riferimento rigido, superficie topografica orizzontale e campo libero (*free field*).

Le condizioni stratigrafiche del volume di terreno interessato dall'opera e le condizioni topografiche determinano una modifica delle onde sismiche in superficie (Fig. 67), in termini di ampiezza dell'oscillazione, durata e contenuto in frequenza.

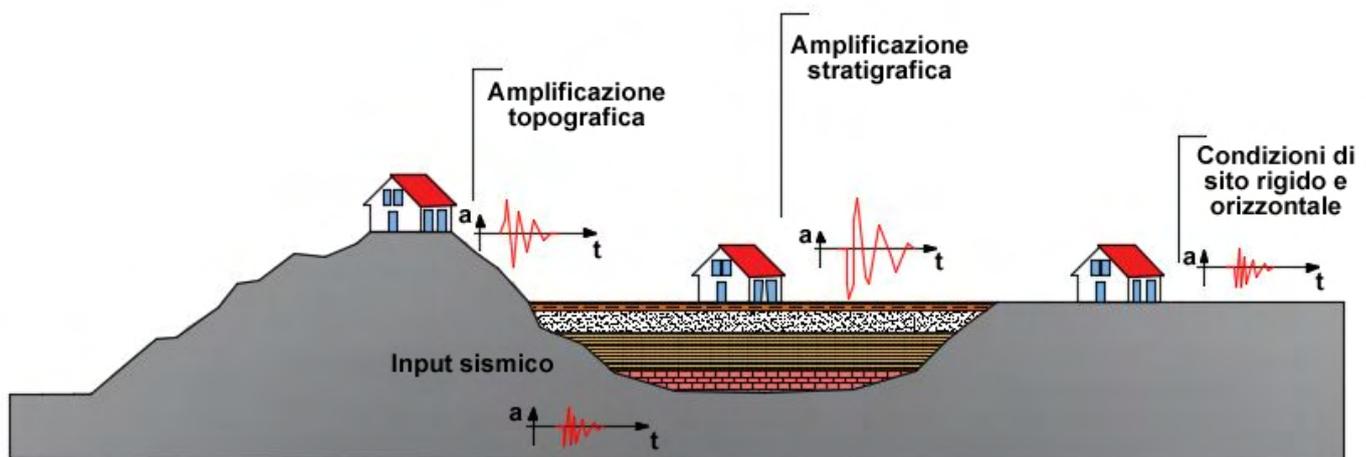


Fig. 67 – Effetto dell'amplificazione stratigrafica e topografica sull'azione sismica

Per tenere conto di questo aspetto, la normativa vigente identifica cinque categorie di sottosuolo (A, B, C, D, E) e quattro categorie topografiche (T1, T2, T3, T4).

La categoria di sottosuolo viene determinata, come visto, in funzione del valore che assume la velocità delle onde di taglio  $V_s$  nel sottosuolo (Tab. 3.2.II delle NTC), mentre la categoria topografica dalla morfologia che assume la superficie topografica (Tab. 3.2.IV delle NTC).

In merito all'amplificazione stratigrafica per sottosuolo di categoria **A** i coefficienti  $S_s$  e  $C_c$  valgono **1,00** mentre per le categorie di sottosuolo **B**, **C**, **D**, ed **E** tali coefficienti possono essere calcolati, in funzione dei valori di  $F_0$  e  $T^*_c$  relativi al sottosuolo di categoria **A**, mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.V delle NTC, nelle quali  $g$  è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

**Tabella 3.2.V delle NTC – Espressioni di  $S_s$  e di  $C_c$**

<b>Categoria Sottosuolo</b>	<b><math>S_s</math></b>	<b><math>C_c</math></b>
<b>A</b>	1,00	1,00
<b>B</b>	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot ag/g \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T^*_c)^{-0,20}$
<b>C</b>	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot ag/g \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T^*_c)^{-0,33}$
<b>D</b>	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot ag/g \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T^*_c)^{-0,50}$
<b>E</b>	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot ag/g \leq 1,60$	$1,10 \cdot (T^*_c)^{-0,20}$

Relativamente all'amplificazione topografica, per tener conto delle condizioni topografiche si utilizzano i valori del coefficiente topografico  $S_T$  riportati nella Tab. 3.2.VI delle NTC, in funzione delle categorie topografiche e dell'ubicazione dell'opera.

**Tabella 3.2.VI delle NTC – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$**

<b>Categoria topografica</b>	<b>Ubicazione dell'opera o dell'intervento</b>	<b><math>S_T</math></b>
<b>T1</b>		1,00
<b>T2</b>	In corrispondenza della sommità del pendio	1,20
<b>T3</b>	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,20
<b>T4</b>	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,40

*Alla luce di quanto sopra esposto, è necessario che per ogni progetto siano predisposte adeguate e dettagliate indagini sismiche in sito e rilievi topografici al fine di definire in maniera precisa i possibili effetti di amplificazione del moto sismico dovuti alla stratigrafia locale e alle condizioni topografiche del sito specifico.*

## 11. Caratterizzazione sismica secondo le N.T.C. 2018 (D.M. 17.01.2018)

L'entrata in vigore delle Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC D.M. 17.01.2018, a cui si rimanda per maggiori dettagli) ha imposto di procedere ad una diversa definizione del profilo stratigrafico dei suoli di fondazione, in funzione delle azioni sismiche di progetto (cfr. N.T.C. C3 - AZIONI SULLE COSTRUZIONI).

La pericolosità sismica del territorio nazionale è definita convenzionalmente facendo riferimento ad un sito rigido (di categoria **A**) (cfr. NTC § 3.1.2) con superficie topografica orizzontale (di categoria **T1**), in condizioni di campo libero, cioè in assenza di manufatti. Le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di riferimento, per una fissata *PVR*, si ritengono individuate quando se ne conosca l'accelerazione massima attesa (*ag*) ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione. È possibile anche descrivere il terremoto in forma di accelerogrammi, ovviamente questi devono essere compatibili con le predette caratteristiche del moto sismico del sito.

I caratteri del moto sismico su sito di riferimento rigido orizzontale sono descritti dalla distribuzione sul territorio nazionale delle seguenti grandezze, sulla base delle quali sono compiutamente definite le forme spettrali per la generica *PVR*:

- o *ag* = accelerazione massima al sito;
- o *Fo* = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- o *TC\** = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

### 11.1 Valutazione dell'azione sismica e relativi parametri

Ai fini della determinazione delle azioni sismiche di progetto nei modi previsti dalle *NTC*, la pericolosità sismica del territorio nazionale è definita convenzionalmente facendo riferimento ad un sito rigido (di categoria **A**) con superficie topografica orizzontale (di categoria **T1**), in condizioni di campo libero, cioè in assenza di manufatti.

Negli sviluppi successivi il sito di riferimento sarà caratterizzato da sottosuolo di categoria **A** e superficie topografica orizzontale **T1**. Le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di riferimento, per una fissata *P<sub>Vg</sub>*, si ritengono individuate quando se ne conosca l'accelerazione massima ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione. Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle *NTC*, dalle accelerazioni *ag* e dalle relative forme spettrali.

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

1. ***a<sub>g</sub>*** = accelerazione orizzontale massima del terreno;
2. ***F<sub>o</sub>*** = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
3. ***T<sub>c</sub>\**** = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

## 11.2 Stati limite e relative probabilità di superamento

Gli stati limite, sia di *esercizio* (**SLD** – Stato Limite di **D**anno ed **SLO** – Stato Limite di immediata Operatività) che *ultimi* (**SLV** – Stato Limite della **V**ita ed **SLC** – Stato Limite di prevenzione del Collasso) consentono di individuare quattro situazioni diverse che, al crescere progressivo dell'azione sismica, ed al conseguente progressivo superamento dei quattro stati limiti ordinati per azione sismica crescente (*SLO, SLD, SLV, SLC*), fanno corrispondere una progressiva crescita del danneggiamento all'insieme della struttura.

Ai quattro stati limite sono stati attribuiti (Tabella 3.2.1 delle NTC) valori della probabilità di superamento  $P_{Vg}$  pari rispettivamente a 81%, 63%, 10% e 5%. La pericolosità sismica in un generico sito, dunque, deve essere descritta in modo da renderla compatibile con le NTC e da dotarla di un sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali; tali condizioni possono ritenersi soddisfatte se i risultati dello studio di pericolosità sono forniti:

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

La pericolosità sismica di un sito, quindi, è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo, in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato. Nelle NTC, tale lasso di tempo, espresso in anni, è denominato "*periodo di riferimento*"  $V_R$  e la probabilità è denominata "*probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento*"  $P_{Vg}$ . Per la valutazione della risposta sismica locale, secondo i dettami del D.M. del 17.01.2018, è possibile utilizzare il software sperimentale *EXCEL SPETTRI NTC 1.0.3* sviluppato e messo a disposizione dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Questo software fornisce gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticali) delle azioni sismiche di progetto per il generico sito del territorio nazionale.

La definizione degli spettri di risposta relativi ad uno Stato Limite è articolata in 3 fasi, ciascuna delle quali prevede la scelta dei valori di alcuni parametri:

- *FASE 1 - Individuazione della pericolosità del sito (sulla base del progetto S1 - INGV).*
- *FASE 2 - Scelta della strategia di progettazione.*
- *FASE 3 - Determinazione dell'azione di progetto.*

Nella **FASE 1** devono essere determinati i valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T^*c$ , in funzione della latitudine e longitudine del sito di specifico intervento per i periodi di ritorno  $T_R$ , associati a ciascuno stato limite di riferimento, da utilizzare per definire l'azione sismica nei modi previsti dalle NTC, generando i relativi grafici degli spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento per categoria di suolo A (Figg. 68-69-70).

**FASE 1 - Individuazione della pericolosità del sito (sulla base dei risultati del progetto S1-INGV). Pericolosità sismica in condizioni di campo libero e riferita a suolo di categoria A e superficie topografica orizzontale T1**

## FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE

LATITUDINE

Ricerca per comune

REGIONE

PROVINCIA

COMUNE

**Elaborazioni grafiche**

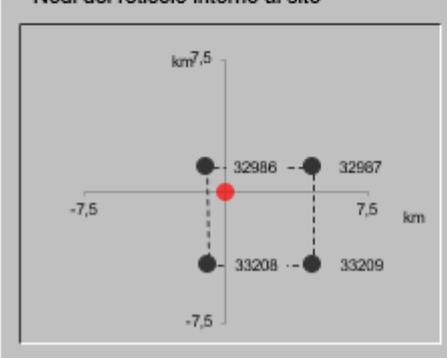
Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

**Elaborazioni numeriche**

Tabella parametri

**Nodi del reticolo intorno al sito**



**Reticolo di riferimento**

Controllo sul reticolo

Sito esterno al reticolo

Interpolazione su 3 nodi

Interpolazione corretta

Interpolazione

superficie rigata



La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

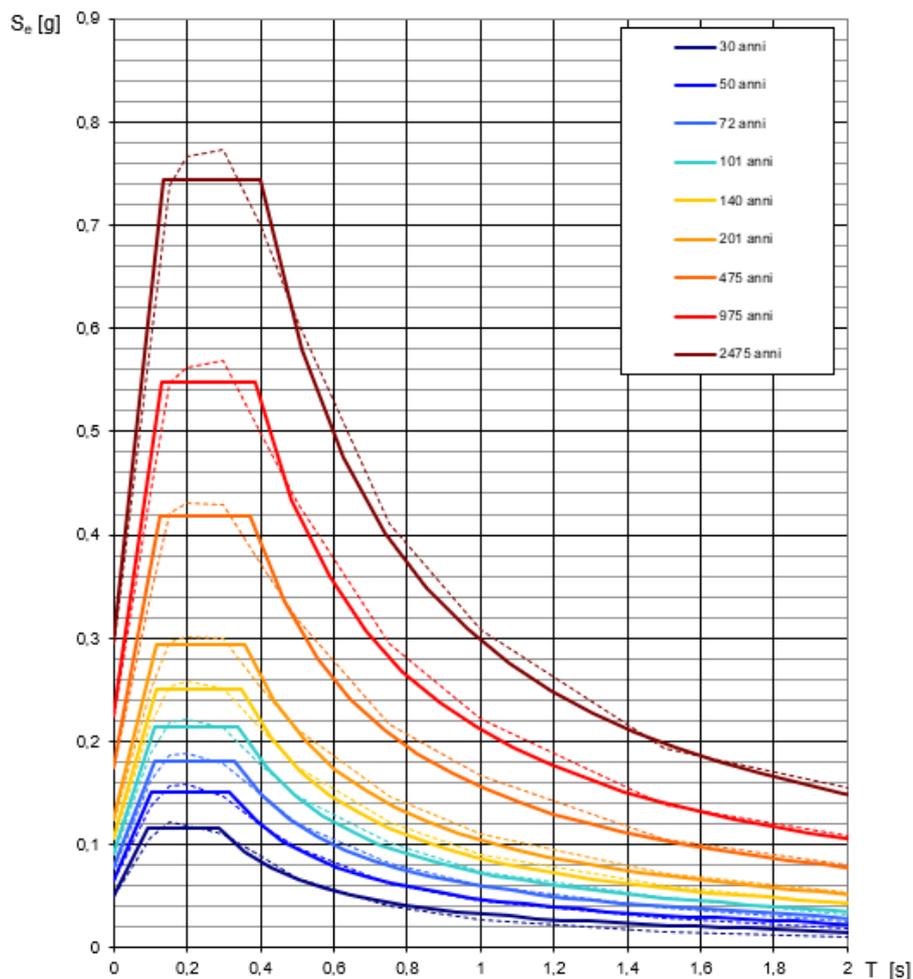
INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Fig. 68 - Nodi di reticolo intorno al un ipotetico sito ubicato del Comune di Forino

$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]
30	0,050	2,338	0,285
50	0,065	2,338	0,314
72	0,077	2,355	0,330
101	0,091	2,369	0,339
140	0,105	2,373	0,348
201	0,124	2,376	0,355
475	0,174	2,400	0,372
975	0,225	2,436	0,386
2475	0,295	2,522	0,400

Fig. 69 - Tabella dei valori dei parametri di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento

### Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno $T_R$ di riferimento



NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

Fig. 70 - Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno  $T_r$  di riferimento, per categoria di suolo A e superficie topografica T1

Per quanto riguarda la strategia di progettazione (**FASE 2**), è necessario valutare il periodo di riferimento  $V_R$  delle opere da realizzare, ottenuto come prodotto tra la vita nominale  $V_N$  ed il valore del coefficiente d'uso  $C_U$  che compete alla classe d'uso delle opere di progetto.

In questo modo si ricavano, per ciascuno stato limite e relativa probabilità di eccedenza  $P_{Vg}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ , il periodo di ritorno  $T_R$  del sisma ed i valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T^*c$  (Figg. 71-72-73-74).

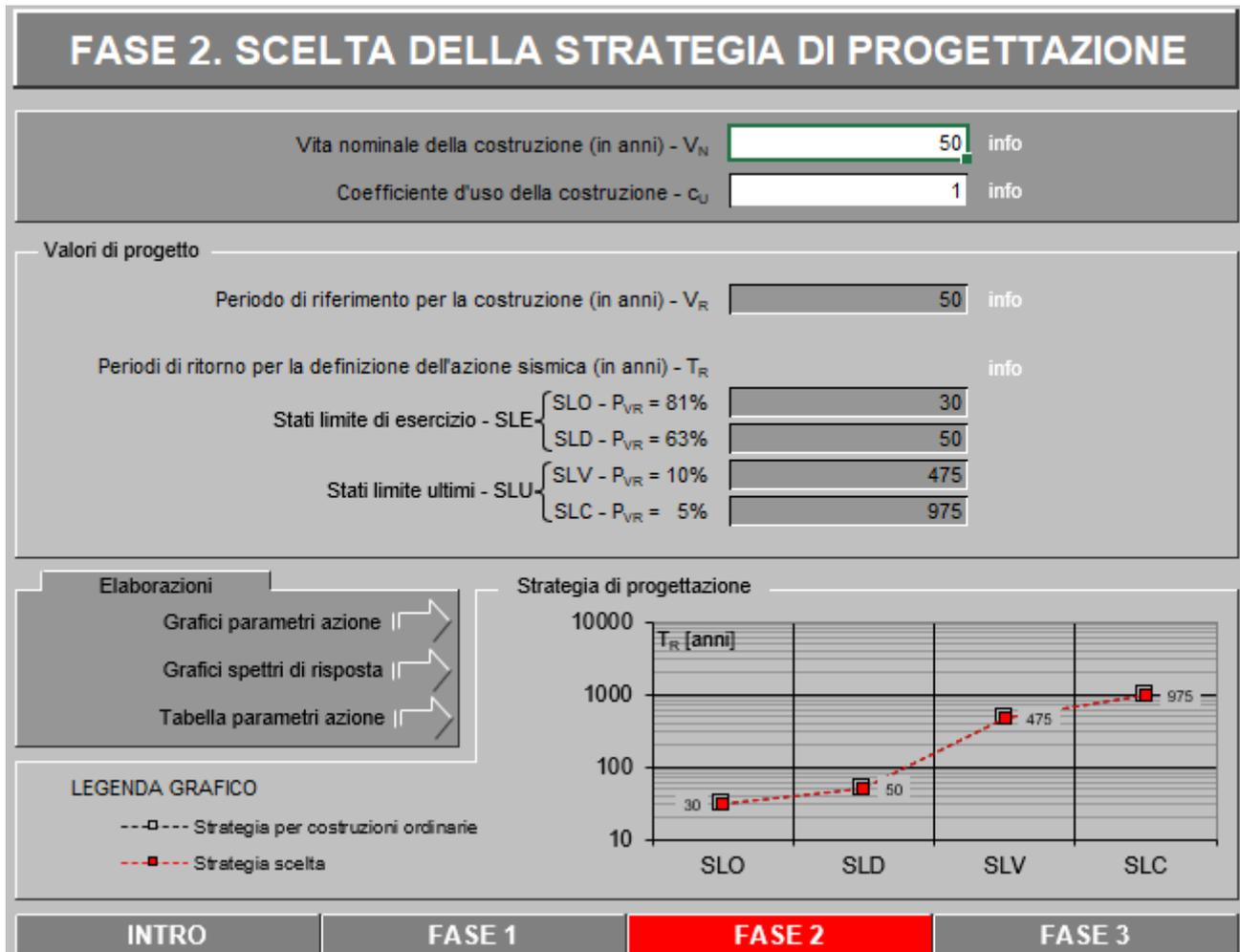


Fig. 71 – Scelta della strategia di progettazione

Tabella 2.4.I – Vita nominale  $V_N$  per diversi tipi di opere

Tipi di costruzione		Vita Nominale $V_N$ (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva	$\leq 10$
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	$\geq 50$
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza	$\geq 100$

Fig. 72 – Scelta della Vita nominale dell'opera strutturale ( $V_N$ )

**Classi d'uso (§ 2.4.2 NTC-08)**

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

<i>Classe I:</i>	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
<i>Classe II:</i>	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in <i>Classe d'uso III</i> o in <i>Classe d'uso IV</i> , reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
<i>Classe III:</i>	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in <i>Classe d'uso IV</i> . Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
<i>Classe IV:</i>	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Fig. 73 – Scelta della Classe d'uso ( $C_u$ )

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	30	0,050	2,338	0,285
SLD	50	0,065	2,339	0,315
SLV	475	0,174	2,400	0,372
SLC	975	0,225	2,436	0,386

Fig. 74 – Esempio dei valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C^*$  per i periodi di ritorno associati a ciascuno SL

Infine, per la determinazione dell'azione di progetto (**FASE 3**), è necessario individuare lo stato limite d'interesse, la categoria di sottosuolo e quella topografica, lo spettro di progetto per la componente orizzontale (elastico e/o inelastico) e per quella verticale (Fattore q) (Fig. 75).

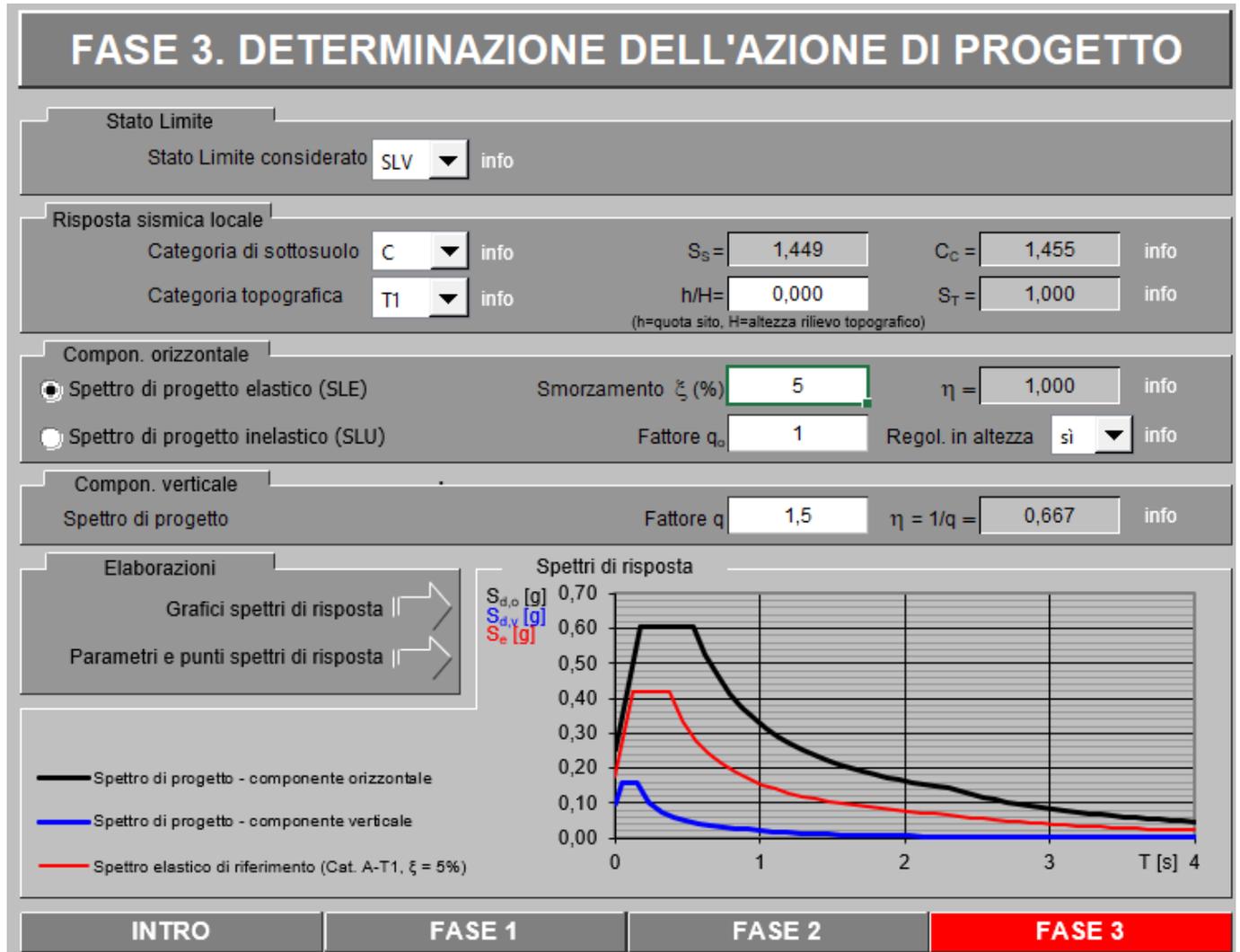


Fig. 75 – Determinazione dell'azione di progetto nella Fase 3

Il moto sismico di ciascun punto del suolo al di sotto della costruzione può essere decomposto in componenti secondo tre direzioni ortogonali; per ciascuna componente dell'azione sismica può essere fornita una rappresentazione puntuale mediante la sola accelerazione massima attesa, mediante l'intero spettro di risposta o mediante storie temporali dell'accelerazione (accelerogrammi). La rappresentazione di riferimento per le componenti dell'azione sismica è lo spettro di risposta elastico in accelerazione per uno smorzamento convenzionale del 5%.

Esso fornisce la risposta massima in accelerazione del generico sistema dinamico elementare con periodo di oscillazione  $T \leq 4$  s ed è espresso come il prodotto di una forma spettrale per l'accelerazione massima del terreno.

La forma spettrale per le componenti orizzontali è definita mediante le stesse espressioni fornite dall'EN1998 nelle quali, tuttavia, non si è assunto un singolo valore per l'amplificazione massima

ma si è fornita tale grandezza,  $F_0$ , in funzione della pericolosità del sito insieme alle grandezze  $ag$ ,  $T_C$  e, conseguentemente,  $T_B$ ,  $T_D$ .

Per la componente verticale, invece, le uniche grandezze fornite in funzione della pericolosità del sito sono l'accelerazione massima, posta pari alla massima accelerazione orizzontale del suolo  $ag$ , e l'amplificazione massima  $F_V$ , espressa come funzione di  $ag$ . La categoria di sottosuolo e le condizioni topografiche incidono sullo spettro elastico di risposta.

Specificamente, l'accelerazione spettrale massima dipende dal coefficiente  $S = S_S \times S_T$  che comprende gli effetti delle amplificazioni stratigrafica ( $S_S$ ) e topografica ( $S_T$ ). Per le componenti orizzontali dell'azione sismica, il periodo  $T_C$  di inizio del tratto a velocità costante dello spettro, è funzione invece del coefficiente  $C_C$ , dipendente anch'esso dalla categoria di sottosuolo.

A parità di categoria di sottosuolo, l'andamento di  $S_S$  con  $F_0 \cdot ag$  è caratterizzato da due tratti orizzontali, rispettivamente per bassi ed elevati valori di pericolosità sismica; tali tratti sono raccordati da un segmento di retta che descrive il decremento lineare di  $S_S$  con  $F_0 \cdot ag$ .

In genere, a parità di pericolosità del sito ( $F_0 \cdot ag$ ), i valori di  $S_S$  si incrementano al decrescere della rigidezza del sottosuolo, passando dal sottosuolo di categoria A al sottosuolo di categoria E.

In particolare, per  $F_0 \cdot ag < 0.78g$ , il sottosuolo di categoria D mostra amplificazioni maggiori delle altre categorie di sottosuolo, mentre, per  $0.78g \leq F_0 \cdot ag < 1.17g$  i fenomeni di amplificazione sono più marcati per il sottosuolo di categoria C.

A parità della categoria di sottosuolo, il coefficiente  $C_C$  decresce al crescere di  $T_C^*$  e, conseguentemente, l'effetto di amplificazione massima si sposta verso periodi più brevi e si riduce l'estensione del tratto orizzontale caratterizzato da ordinata spettrale massima. In genere, a parità di  $T_C^*$ , i valori di  $C_C$  si incrementano al decrescere della rigidezza del sottosuolo, ovvero passando dal sottosuolo di categoria A al sottosuolo di categoria E.

Il sottosuolo di categoria D presenta, nell'intervallo di valori di interesse, valori di  $T_C$  maggiori di quelli relativi alle altre categorie di sottosuolo.

Il risultato finale sarà quindi la determinazione di vari parametri e punti degli spettri di risposta orizzontale e verticale per lo stato limite ultimo considerato (periodi spettrali  $T_B$  e  $T_C$ ).

## 12. Pericolosità dovuti agli effetti cosismici

In relazione a possibili scenari di pericolosità, oltre a fenomeni di amplificazione locale si possono registrare veri e propri fenomeni di instabilità dei terreni. Questi insorgono quando le forze (azioni) indotte da un terremoto superano la resistenza al taglio dei terreni provocandone la rottura. L'approccio a tale situazione reale consiste nell'individuare le condizioni di potenziale instabilità del terreno ed il margine di sicurezza rispetto a tale situazione in occasione dell'evento sismico atteso.

I terreni sottoposti a potenziale instabilità sono definiti sismicamente instabili, in cui gli sforzi ciclici indotti dal terremoto di riferimento uguagliano o superano la resistenza al taglio del terreno stesso che, non essendo in grado di trasmettere gli sforzi indotti, subisce collassi e rotture.

Generalmente tali terreni sono caratterizzati da proprietà meccaniche molto scadenti, basse resistenze al taglio ed elevate deformabilità. I possibili effetti che un terremoto può provocare in un determinato sito, in rapporto alle condizioni locali sono:

- fenomeni di liquefazione in terreni granulari fini;
- fenomeni di densificazione in terreni incoerenti, nonché asciutti o parzialmente saturi;
- movimenti franosi lungo pendii;
- cedimenti in terreni argillosi soffici;
- scorrimenti e cedimenti differenziali in corrispondenza di contatti geologici o di faglie.

I fenomeni sovraelencati sono imputabili principalmente alle proprietà geotecniche dei terreni e all'interazione fra onde sismiche e natura dei depositi.

Esiste un'abbondante bibliografia, a livello nazionale ed internazionale, relativa agli effetti cosismici indotti da terremoti sia di storico che di recente accadimento, di moderata o elevata magnitudo/intensità. Oltre alla descrizione dei fenomeni ed alla ricostruzione dei meccanismi che presiedono al verificarsi di tali effetti di superficie, che corrispondono sempre a deformazioni di natura permanente del terreno e quindi a condizioni di rottura a seguito di sollecitazioni sismiche, tali studi sono volti alla definizione della occorrenza di ciascuna categoria di effetti in relazione a parametri quali: magnitudo dell'evento, distanza epicentrale ovvero distanza dalla linea di rottura desunta dalla distribuzione degli after-shock, accelerazione di picco (PGA), ecc..

## **12.1 Stabilità nei confronti della liquefazione**

Per liquefazione di un terreno s'intende il quasi totale annullamento della sua resistenza al taglio con l'assunzione del comportamento meccanico caratteristico dei liquidi. I fenomeni di liquefazione interessano in genere depositi sabbiosi saturi e dipendono principalmente da:

- proprietà geotecniche dei terreni;
- caratteristiche delle vibrazioni sismiche e loro durata;
- genesi e storia geologica dei terreni.

Un terreno incoerente saturo, in assenza di sollecitazioni sismiche è soggetto alla pressione litostatica, dovuta al peso dei sedimenti sovrastanti. Durante una sollecitazione sismica vengono indotte nel terreno delle sollecitazioni cicliche di taglio, dovute alla propagazione delle onde sismiche verso la superficie, mentre la pressione litostatica resta costante.

Nel terreno si possono generare fenomeni di liquefazione se la scossa sismica produce un numero di cicli tale da far sì che la pressione interstiziale uguagli la pressione di confinamento. Nei depositi la pressione di confinamento aumenta con la profondità, mentre l'ampiezza dello sforzo di taglio indotto dal sisma diminuisce. La resistenza alla liquefazione quindi è maggiore con la profondità. Maggiore è la durata di un terremoto più alta è la possibilità che si arrivi (maggior numero di cicli) alla liquefazione. Inoltre, maggiore è l'ampiezza della vibrazione e della deformazione indotta e minore è il numero di cicli necessari per giungere a tale condizione.

La probabilità che un deposito raggiunga le condizioni per la liquefazione dipende anche dallo stato di addensamento, dalla composizione granulometrica, dalle condizioni di drenaggio, dalla storia delle sollecitazioni sismiche e dall'età del deposito stesso. Tanto minore è il grado di addensamento del materiale (elevato indice dei vuoti e bassa densità relativa) tanto maggiore è la probabilità che, a parità di altre condizioni, un deposito raggiunga lo stato di liquefazione.

Il fenomeno della liquefazione si origina preferibilmente in sedimenti posti tra 1,00 m e 20,00 m di profondità dal piano campagna, come chiarisce la Presidenza del Consiglio dei Ministri Dipartimento della Protezione Civile "*Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*".

Le NTC richiedono una verifica alla suscettibilità di liquefazione dei terreni del sito sul quale insiste la progettazione di un manufatto. Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

Il D.M. 17.01.2018 contiene, al punto 7.11.3.4.2, le linee guida per valutare la suscettibilità alla liquefazione dei terreni. Una valutazione semplificata della suscettibilità può essere ottenuta considerando le seguenti condizioni:

- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti
- profondità media stagionale della falda
- tipo di deposito.

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. *accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;*
2. *profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;*
3. *depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$ , dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata a una tensione efficace verticale di 100 KPa, e  $q_{c1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata a una tensione di verticale di 100 KPa;*
4. *distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura 76 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in figura 77 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .*

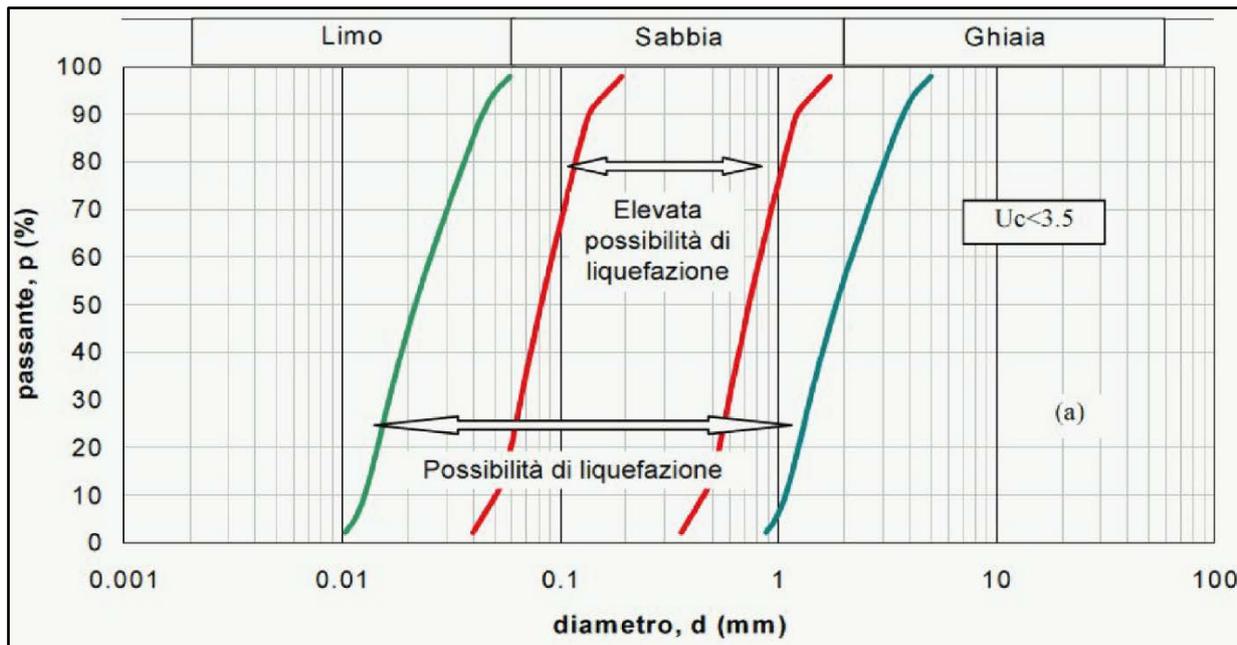


Fig. 76 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione ( $U_c < 3,5$ )

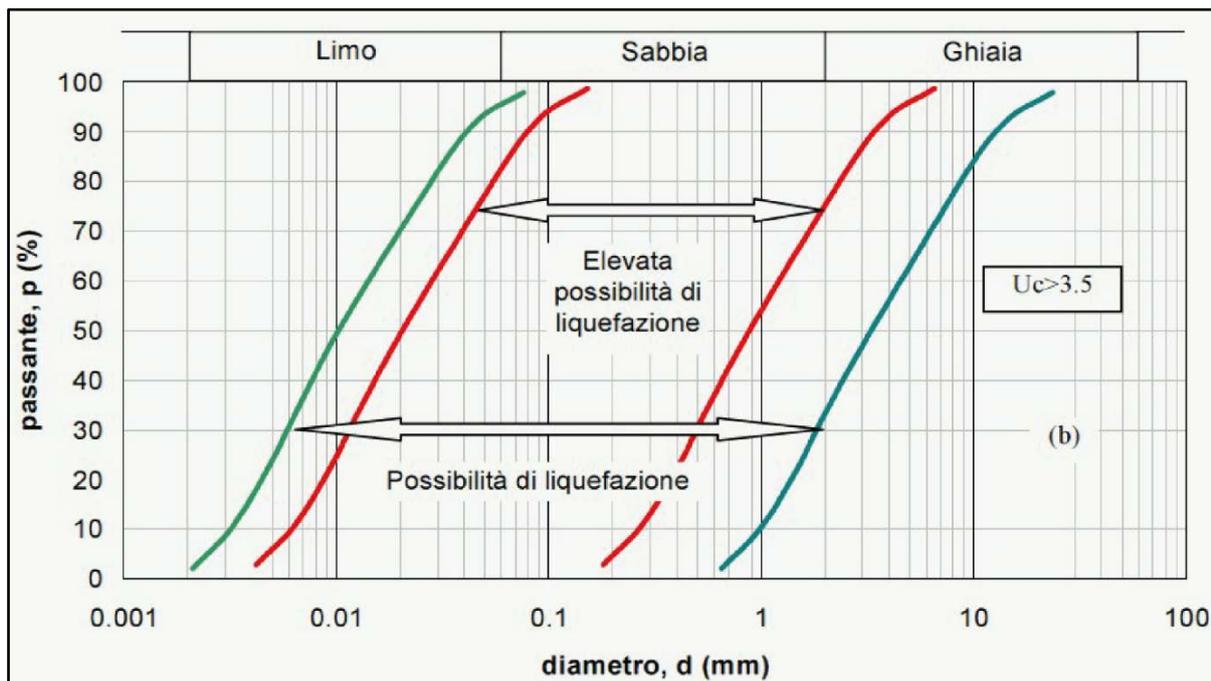


Fig. 77 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione ( $U_c > 3,5$ )

Quando la condizione 1 non risulti soddisfatta, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 2, 3 e 4.

Quando nessuna delle condizioni risulti soddisfatta e il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, occorre valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili.

La verifica può essere effettuata con metodologie di tipo storico-empirico in cui il coefficiente di sicurezza viene definito dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione e la

sollecitazione indotta dal terremoto di progetto. La resistenza alla liquefazione può essere valutata sulla base dei risultati di prove in sito o di prove cicliche di laboratorio.

La sollecitazione indotta dall'azione sismica è stimata attraverso la conoscenza dell'accelerazione massima attesa alla profondità di interesse.

Dallo studio geologico effettuato in questa sede si evince che il sottosuolo della zona sub-planeggiante de territorio comunale di Forino è costituito, dall'alto verso il basso stratigrafico, da depositi di origine piroclastica sciolti limoso-sabbioso-argillosi, disposti in strati sub-orizzontali, rinvenibile a profondità variabile, a cui sono interdignati terreni di origine alluvionale prevalentemente sabbioso-ghiaiosi almeno fino alla profondità di 30 m.

Inoltre dall'analisi della Carta Idrogeologica, nella successione stratigrafica appena descritta, in alcune zone del territorio può essere presente una falda idrica più superficiale nei primi 15 m che tende poi ad approfondirsi procedendo verso l'estrema zona sud-orientale del territorio comunale, cioè verso l'area morfologicamente più depressa compresa tra il Monte Romola e il promontorio su cui sorge il Castello.

*Di conseguenza, è necessario che le progettazioni previste nelle zone in cui la falda è posta ad una profondità minore di 15 m dal piano di campagna di riferimento siano opportunamente corredate da studi specifici per la verifica di possibili fenomeni di liquefazioni dei terreni indotti da sollecitazioni sismiche.*

## 13. Pericolosità sismica e Microzonazione sismica

### 13.1 Linee guida della Regione Campania

L'esigenza di predisporre Linee Guida finalizzate alla mitigazione del rischio sismico per le infrastrutture pubbliche ed il patrimonio edilizio pubblico e privato presente nel territorio regionale, scaturisce dall'obiettivo, che si è posta la Regione Campania nel 2003, di programmare e attuare interventi che mirano alla salvaguardia, al recupero e/o all'adeguamento sismico di detto patrimonio, da realizzarsi attraverso:

- *la verifica sistematica delle condizioni strutturali del patrimonio edilizio e infrastrutturale;*
- *l'analisi e la caratterizzazione geologica in prospettiva sismica del territorio campano.*

A tal fine, la Giunta Regionale della Campania, con deliberazione n.335 del 31/01/2003 e n.2322 del 18/07/2003 (quest'ultima necessaria per dare attuazione alle disposizioni dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/2003) ha approvato la "*Procedura tecnico-amministrativa per la verifica strutturale del patrimonio pubblico e l'analisi geologica in prospettiva sismica del territorio campano*".

Con D.R.G.C. 2322/03, è stato costituito un tavolo di lavoro interdisciplinare coordinato dal dirigente del Settore Geologico Regionale, con la partecipazione dei Settori Regionali *Geotecnica, Geotermia e Difesa del Suolo, Interventi di Protezione Civile sul Territorio, Urbanistica e Provinciale del Genio Civile di Napoli* ed è stata confermata la costituzione della Commissione tecnico-scientifica, già operata con deliberazione 335/03.

Infine, con D.P.G.R. della Campania 770 del 13/11/2003 è stata emanata la suddetta procedura tecnico-amministrativa e costituita la Commissione tecnico-scientifica, composta dai Professori Universitari Leonardo Cascini, Edoardo Cosenza, Paolo Gasparini, Bruno Palazzo, Antonio Rampolla e Filippo Vinale.

La Commissione, tenendo conto delle norme tecniche vigenti e delle conoscenze tecnico-scientifiche più recenti, ha elaborato le seguenti Linee Guida:

- *Linee guida finalizzate alla definizione delle indagini ed analisi geologiche, geofisiche e geotecniche;*
- *Linee guida finalizzate alla verifica strutturale degli edifici in cemento armato in attuazione dell'O.P.C.M. 3274/2003.*

Come riportato nelle ***Linee guida finalizzate alla definizione delle indagini ed analisi geologiche, geofisiche e geotecniche***, cui si fa riferimento per la microzonazione del Comune di Forino, per le procedure generali di valutazione della amplificazione sismica locale e della instabilità dei pendii, è ben noto che in letteratura sono stati introdotti tre livelli di zonazione, cui sono associati metodi d'analisi via via più complessi, che, a loro volta, richiedono un crescente grado di conoscenza dei caratteri geologici, geofisici e geotecnici dell'area (morfologia superficiale

e sepolta, regime delle acque sotterranee, costituzione del sottosuolo, proprietà fisico-meccaniche dei terreni e delle rocce presenti). Il passaggio da un livello di analisi ad uno superiore deve avvenire man mano che si manifesta la necessità di approfondimenti.

In linea di massima, tutte le procedure di zonazione sismica sono sviluppate in condizioni di **campo libero** (*free-field*) ovvero prescindendo dalla presenza di costruzioni ed infrastrutture che interagiscono in maniera più o meno marcata con il terreno.

### **Metodi di I livello** (scala 1:1.000.000 - 1:50.000)

È basato sulla raccolta critica e sull'interpretazione di tutte le informazioni esistenti relative a:

- *caratteri degli eventi sismici passati, generalmente deducibili dai cataloghi di terremoti strumentali ed anche di terremoti storici privi di registrazioni strumentali;*
- *geologia strutturale e tettonofisica.*

### **Metodi di II livello** (Sottozonazione o Microzonazione dei territori comunali)

Si eseguono indagini integrative di tipo speditivo finalizzate ad ottenere ulteriori informazioni sui caratteri geologici, geofisici e geotecnici dell'area in esame. A questo fine possono essere utili ulteriori:

- *rilievi aerofotogrammetrici (da aereo e/o satellite);*
- *indagini dirette finalizzate a riconoscere e quantificare le unità geolitologiche potenzialmente suscettibili di amplificazione del moto sismico, instabilità dei pendii e liquefazione;*
- *prove geofisiche di superficie tese a valutare le caratteristiche geometriche di massima del sottosuolo e la morfologia del bedrock;*
- *misura sperimentale di Vs con metodi non invasivi finalizzata a valutare la velocità delle onde di taglio della coltre superficiale di terreni.*

### **Metodi di III livello** (Risposta sismica Locale o di Sito)

*Quando il potenziale rischio sismico è elevato (territori comunali classificati), nelle aree ad elevata esposizione quali ad esempio quelle in cui sono presenti o si prevede di realizzare insediamenti strategici di protezione civile – dovrà essere eseguita uno studio sismico molto più dettagliato. A tal fine, è necessario effettuare indagini geologiche, geofisiche e geotecniche specifiche per il sito in esame e ricorrere alla modellazione numerica per analisi di risposta sismica locale, instabilità dei pendii, o di suscettibilità alla liquefazione.*

In particolare, la *Microzonazione Sismica di II Livello* a scala comunale deve fornire, rispetto alla *Macrozonazione Sismica di I Livello* a scala nazionale, indicazioni di tipo generale atte alla definizione delle condizioni di Pericolosità Sismica Naturale ai fini delle eventuali e/o possibili proposte di urbanizzazione. Tale approccio tende a garantire livelli di sicurezza accettabili per gli edifici (sia pubblici che privati) che siano realizzati in una zona vulnerabile sotto il profilo sismico, inserendo, nella valutazione delle forze agenti sulle costruzioni (Stato Limite Ultimo -SLU), azioni

di intensità pari alla Classificazione sismica di I Livello, eventualmente incrementate di un determinato fattore connesso a particolari situazioni o ad effetti locali a carattere areale (Microzonazione Sismica – II Livello) e da definire poi con dettaglio puntuale in sede di analisi di sito (Risposta Sismica Locale - R.S.L. - III Livello).

Uno studio di Microzonazione Sismica ha l'obiettivo di definire la "Pericolosità Sismica" locale rappresentandone una sintesi in elaborati tematici (L.R. 9/83 art.12); per cui, i principali elementi da definire ed analizzare per la valutazione complessiva di quest'ultima sono la *suscettibilità all'amplificazione del segnale sismico*, la *suscettibilità alla liquefazione* e la *suscettibilità alla instabilità dei pendii naturali*.

Le procedure eseguite per la Microzonazione Sismica del territorio comunale di Forino, in accordo con quanto richiesto dalle norme vigenti (in particolare, D.M.LL.PP. 11/03/1988, O.P.C.M. 3274/03 e successive), hanno individuato zone di attenzione e/o zone eventualmente da escludere quali siti di costruzione per la presenza di una elevata "Pericolosità Sismica" legata, per esempio all'instabilità dei versanti, all'acclività e alle litologie presenti nel versante stesso, agli effetti eccessivi di amplificazione del moto sismico per fattori morfologici.

Per tutte le aree del territorio comunale si sono individuate Microzone caratterizzate da un fattore omogeneo di incremento medio dell'energia sismica attesa, derivante dalla costruzione del Modello Geologico in condizioni ordinarie ed in relazione al massimo sisma atteso.

A tal proposito si ritiene opportuno far presente e rimarcare che questo studio di Microzonazione sismica è finalizzato ad una corretta pianificazione urbanistica del territorio comunale, e che quindi non può sostituire uno studio sismico molto più dettagliato indispensabile per determinare le caratteristiche sismiche di ogni specifico sito di costruzione.

Tale concetto è chiaramente sottolineato anche nella relazione finale della Commissione Tecnico Scientifica (istituita con DGRC n.335 del31 gennaio 2003) svolta per il Settore Geologico Regionale sulla pericolosità sismica in Campania, che a tal proposito evidenzia che: *".....E' da sottolineare che, nello spirito della normativa, tale suddivisione del territorio Comunale rappresenta una sottozonazione sismica a carattere ancora generale, a livello cioè di pianificazione del territorio e non può, né vuole, rappresentare una specifica e corretta identificazione della categoria di terreno presente nell'immediato sottosuolo di uno specifico sito.*

*I valori di "Vs30" determinati nei vari punti stazione vengono infatti estrapolati nelle diverse aree sulla base anche della litologia affiorante e, come è ben comprensibile, possono solo essere rappresentativi di situazioni non particolari, ma generali, come è appunto negli obiettivi di una Microzonazione in prospettiva sismica di un territorio Comunale.*

*Si dovrà raccomandare, pertanto, che in sede successiva, di piani esecutivi, venga effettuata la determinazione attenta delle caratteristiche del terreno secondo le procedure di valutazione della risposta sismica di sito e sulla base di indagini che permettano una corretta valutazione del modello geolitologico e sismico del sottosuolo dell'area specifica interessata dalle fondazioni e di quella immediatamente ad essa circostante."*

## 13.2 Microzonazione Sismica dei centri abitati del Comune di Forino

Il Comune di Forino per lo Studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 (O.P.C.M. n°4007 del 29/02/2012) con disciplinare di incarico del 20/06/2019 ha conferito incarico al geol. Vittorio Emanuele Iervolino, iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Campania al n°2392.

L'area oggetto di studio non comprende l'intero territorio comunale ma soltanto la zona urbanizzata, come definito dalla O.P.C.M n°4007/2012 e dal D.D. n°1279 del 27/10/2016 della Regione Campania.

Per la redazione dello studio sono state eseguite n°8 prospezioni sismiche del tipo HVSR e sono stati realizzati gli elaborati cartografici, in scala 1:5.000, previsti dagli indirizzi e criteri per la Microzonazione sismica di Livello 1. Il risultato ottenuto è sintetizzato nella *Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)* (Fig. 78), costruita sulla base degli elementi predisponenti alle amplificazioni e alle instabilità sismiche già riportati nella Carta Geologica Tecnica (CGT\_MS) (Fig. 79).

Il territorio studiato è stato suddiviso in due distinte zone stabili suscettibili di amplificazioni locali:

- si è utilizzato il *codice 2001*, dove si ha un'alternanza di sabbie limose, miscela di sabbie e limi (SM) che poggiano su limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità (ML), con uno spessore superiore ai 30 metri. Questa zona è stata individuata e cartografa nella fascia pedemontana che borda i rilievi carbonatici che cingono la piana endoreica di Forino;
- la MOPS con *codice 2002* si riferisce a limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità (ML) con spessori superiori ai 30 metri che vanno a costituire la conca endoreica. Le HVS individuano un substrato – probabilmente tufaceo al disotto dei 30-50m di profondità.

L'intero studio di Microzonazione sismica di Livello 1, sinteticamente sopra descritto, è integralmente allegato al presente lavoro.

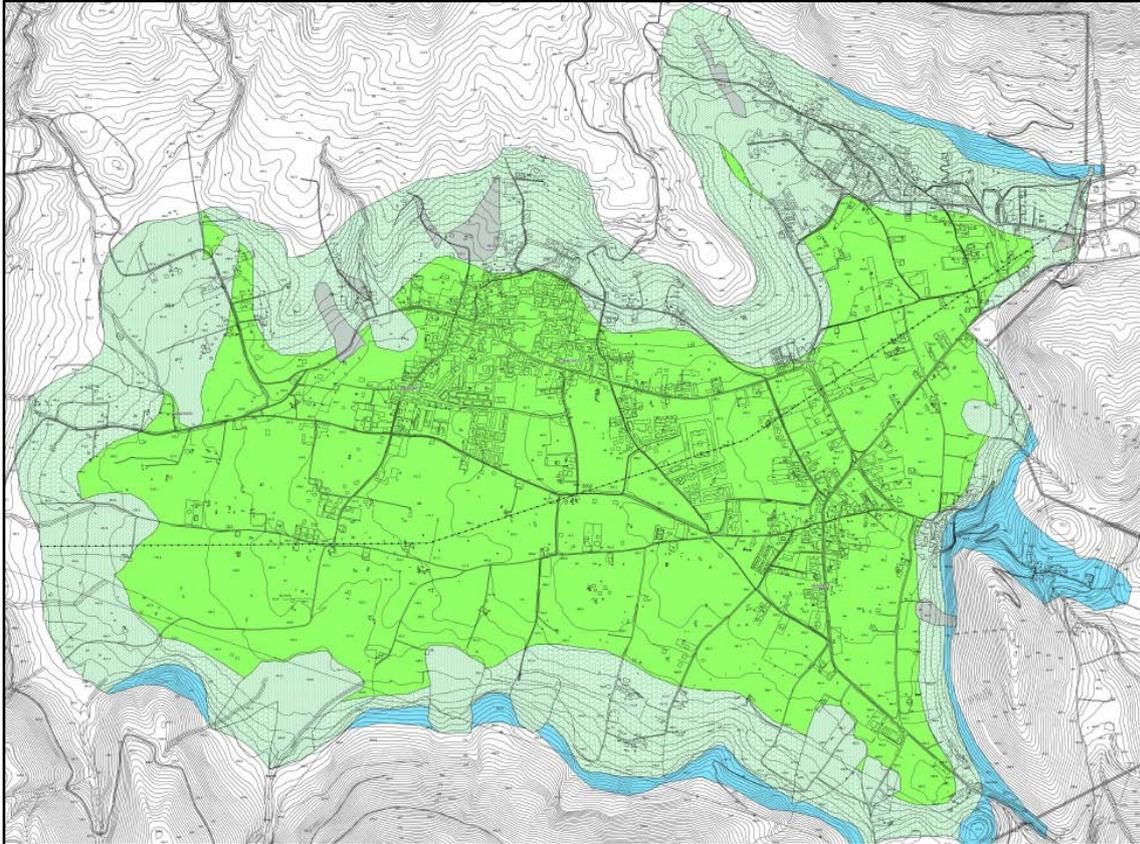


Fig. 78 – Carta delle MOPS allegata allo studio di Microzonazione sismica

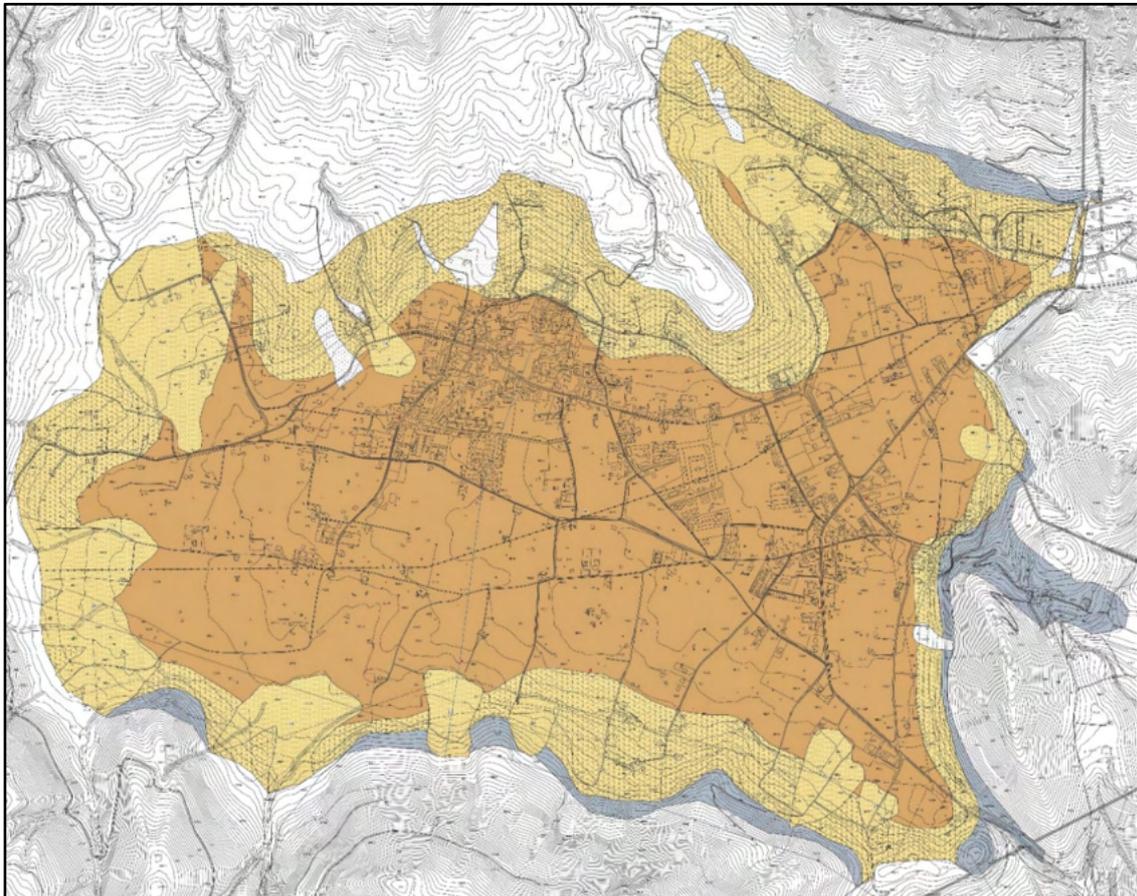


Fig. 79 – Carta geologico-tecnica allegata allo studio di Microzonazione sismica

## 14. Carte tematiche

Il presente lavoro è stato impostato alla stregua di un Piano per l'Assetto Geomorfologico di una qualsiasi Autorità di Bacino, al fine di definire una linea metodologica per la redazione della cartografia a scala di dettaglio delle zone soggette a pericolosità e rischio di frana.

La maggior parte dei fenomeni che intervengono sulla dinamica e quindi sull'assetto morfologico del territorio sono strettamente legati alla natura litologica dei terreni affioranti. Anche le caratteristiche idrogeologiche del sottosuolo, la potenziale vulnerabilità degli acquiferi, la propensione a supportare nuove opere edificatorie, le reazioni del terreno in caso di sisma e quindi, in sintesi, la pericolosità geomorfologica del territorio, dipendono in maniera evidente dalle caratteristiche litostratigrafiche dei terreni affioranti e di quelli costituenti il sottosuolo locale.

Per tale motivo, lo studio geologico di supporto alla redazione del Piano Urbanistico Comunale di Forino si è incentrato, almeno nella fase iniziale, nella definizione delle caratteristiche litologiche delle formazioni affioranti nel territorio, nonché dei rapporti stratigrafici fra loro intercorrenti, al fine di costruire una solida base conoscitiva per l'interpretazione dei fenomeni geologici attivi e potenziali del territorio stesso.

Sono state redatte le seguenti carte tematiche:

- Tavola G2 – Carta di ubicazione delle indagini geognostiche
- Tavola G3 – Carta geolitologica e strutturale del substrato
- Tavola G4 – Carta delle coperture sciolte
- Tavola G5 – Carta dello spessore delle coperture sciolte
- Tavola G6 – Carta idrologica, dei complessi idrogeologici e del sistema idrografico
- Tavola G7 – Carta del modello di elevazione digitale del terreno (DEM)
- Tavola G8 – Carta clivometrica
- Tavola G9 – Carta dell'esposizione (o orientazione) dei versanti
- Tavola G10 – Carta geomorfologica
- Tavola G11 – Carta inventario delle frane ex Autorità di Bacino Campania Centrale
- Tavola G12 – Carta delle aree a maggiore pericolosità geomorfologica
- Tavola G13 – Carta della pericolosità da frana ex Autorità di Bacino Campania Centrale
- Tavola G14 – Carta del rischio da frana ex Autorità di Bacino Campania Centrale
- Tavola G15 – Carta di pericolosità idraulica ex Autorità di Bacino Campania Centrale
- Tavola G16 – Carta del rischio idraulico ex Autorità di Bacino Campania Centrale
- Tavola G17 – Carta della stabilità dei versanti
- Tavola G18 – Carta della categoria di sottosuolo e dell'amplificazione stratigrafica
- Tavola G19 – Carta della categoria topografica e dell'amplificazione topografica
- Tavola G20 – Carta delle aree a maggiore pericolosità sismica locale
- Tavola G21 – Sezioni geologiche rappresentative

In particolare, i fattori considerati, scelti per la loro importanza, sono stati la litologia, la pendenza dei versanti, il grado, il tipo di erosione ed esposizione di questi ultimi (caratteri geomorfologici), la giacitura degli strati, la copertura vegetale e le condizioni climatiche.

La redazione delle carte tematiche sopra citate è stata effettuata sulla base dei rilevamenti geologici e geomorfologici di dettaglio eseguiti in sito, integrati dallo studio di fotografie aeree del territorio esaminato. In aggiunta, a supporto di quanto prodotto, sono stati consultati gli studi tematici prodotti dall'ex Autorità di Bacino Campania Centrale per il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico e suoi aggiornamenti.

Per la redazione delle carte tematiche si è utilizzata la tecnica *GIS (Geographical Information Systems)* che fornisce "un potente set di strumenti atto a raccogliere, immagazzinare, recuperare, trasformare e visualizzare dati spaziali del mondo reale" (Burrough, 1986), in modo da poter gestire contemporaneamente le componenti informative alfanumeriche e geografiche.

I Sistemi Informativi Territoriali o GIS sono strumenti che permettono di gestire ed elaborare informazioni di varia natura associate al territorio. La struttura dei GIS consente di creare un legame tra un insieme di carte tematiche ed una base di dati contenente informazioni (o attributi), sui singoli oggetti in esse rappresentate. La base di dati può essere interrogata per avere informazioni dettagliate su un determinato oggetto e per selezionare, tra tutti quelli che essa contiene, gli oggetti che possiedono determinate caratteristiche. I vantaggi derivanti da questo tipo di elaborazione sono molteplici: in particolare, le analisi e le simulazioni possono essere eseguite e ripetute più volte, cosicché è possibile, in tempi relativamente brevi, generare molteplici scenari e valutare l'influenza dei diversi fattori che in essi intervengono.

Tra le capacità dei GIS risultano fondamentali quelle di elaborare il contenuto delle mappe, eseguendo operazioni di varia complessità (dalla somma numerica del contenuto di due o più coperture ad operazioni algebriche, logiche e statistiche). In questa maniera, è possibile generare nuove mappe e combinare informazioni di natura anche diversa.

#### **14.1 Software utilizzato, reperimento e archiviazione dati**

La cartografia tematica geologica ha il compito di rappresentare nello spazio i parametri, sia di inventario che di processo, che caratterizzano un'area. La metodologia che consente di reperire, verificare, archiviare, elaborare riportare su mappe ed aggiornare le suddette informazioni è detta Sistema Informativo Territoriale o Geografico (SIT o SIG).

Il GIS (Geographic Information System) è la parte hardware-software di un SIT-SIG, che consente di effettuare le varie operazioni (acquisizione, archiviazione, rappresentazione) tramite un computer e le sue periferiche (memoria di massa, scanner, plotter ecc.) in maniera integrata, da cui il termine "sistema". Caratteristiche fondamentali del GIS sono (Fig. 80):

- i dati sono archiviati in modo georeferenziato, hanno cioè una precisa collocazione geografica e, di conseguenza, sono suscettibili di analisi spaziale rappresentabile mediante mappe.
- i dati stessi sono suscettibili di rielaborazione per produrre nuova informazione

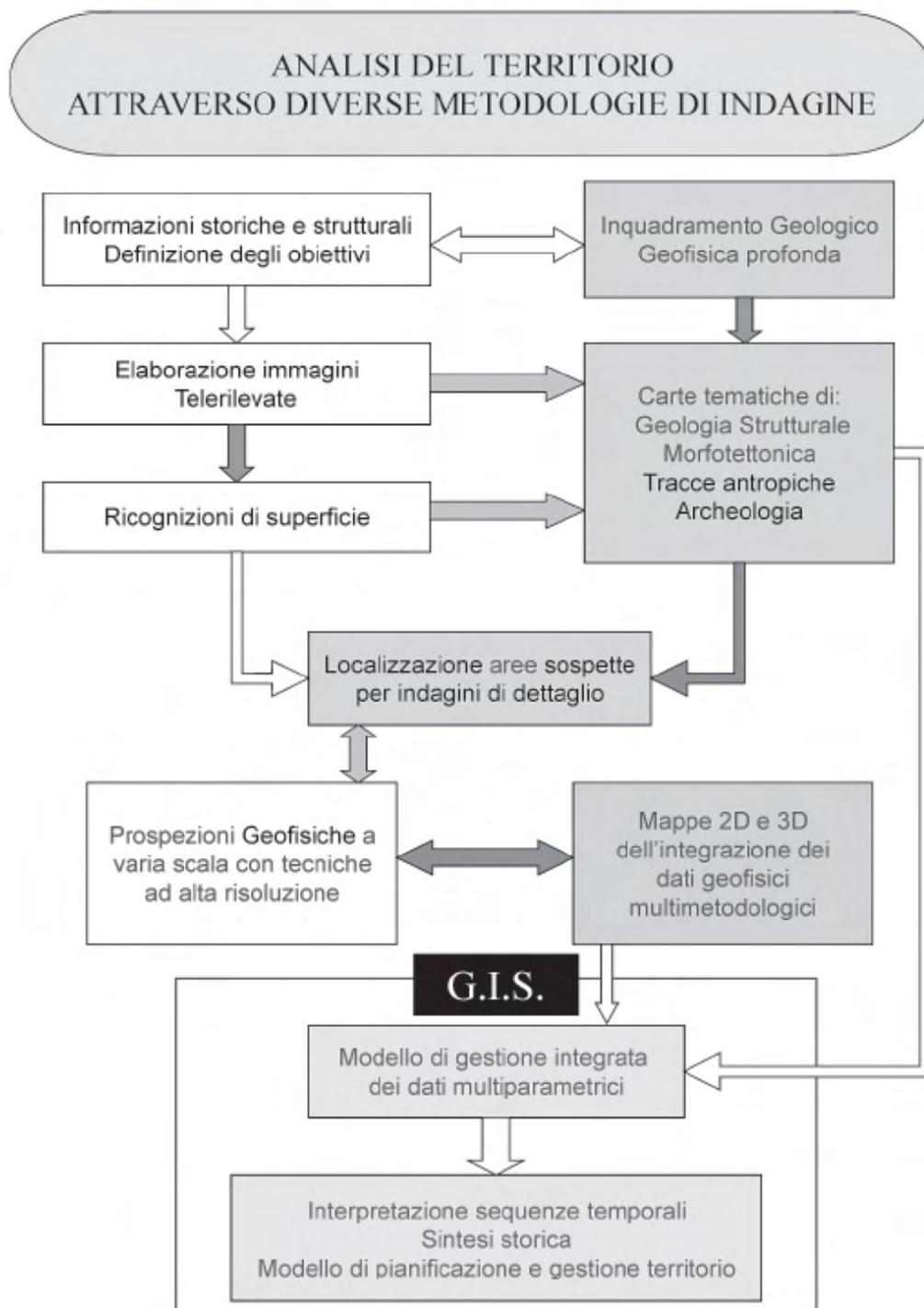


Fig. 80 - Diagramma di flusso per l'acquisizione e l'archiviazione dei dati

Tutte le carte tematiche sono state implementate mediante metodologie GIS (Geographical Information System) con l'utilizzo del software *Quantum Gis 3.22.2 - Biatowieza*, che ha permesso di costruire tutti gli strati informativi di partenza (in formato *shape file* e *grid*), necessari per effettuare le analisi realizzate nel presente studio, finalizzate alla redazione del PUC. Nella prima fase del progetto sono stati raccolti tutti i dati geologici e descrittivi disponibili sul territorio comunale di Forino. Le informazioni raccolte sono state organizzate in un database Access, al fine di facilitarne la consultazione e la compilazione di una lista, dei dati disponibili.

Successivamente è stata prevista una integrazione dei dati archiviati, al fine di creare una base dati allargata, che raggruppasse tutte le informazioni utili per delineare un quadro conoscitivo sull'assetto geologico dell'area di studio. Il reperimento dei dati è avvenuto attraverso i contatti con gli enti territoriali interessanti come: Provincia di Salerno, Comune di Forino, ex Autorità di Bacino Campania Centrale. In ultimo sono stati selezionati i dati ritenuti rilevanti ai fini della realizzazione della base dati GIS.

La raccolta di dati ed informazioni utili allo svolgimento dello studio geologico è iniziata con l'acquisizione delle cartografie di base in formato digitale e numerico, per poi procedere con l'analisi dei lavori e degli studi svolti nell'area in esame. I dati sono stati acquisiti in formato digitale, vettoriale o raster, con sistema di riferimento WGS84-UTM, sia perché largamente impiegato a livello internazionale per la rappresentazione di cartografie tematiche, sia perché consente un utilizzo immediato dei dati acquisiti in campo con il GPS, evitando procedure di conversione che possono introdurre errori nella precisione delle posizioni.

Un database, o base di dati, è un insieme integrato di archivi elettronici tra loro correlati che permette di elaborare una serie di informazioni relative ad un particolare oggetto o scopo. In un database relazionale, le informazioni sono suddivise ed organizzate in una serie di tabelle collegate fra loro, evitando la ridondanza e consentendo un accesso più rapido alle informazioni. Per questi motivi è stato realizzato un database che contenesse tutti i dati disponibili.

Il database è stato implementato secondo lo schema relazionale e consiste di tabelle collegate tra loro mediante dei campi comuni (chiavi). Nelle tabelle sono memorizzate varie informazioni, come: descrizione del dato, autore, data di acquisizione, formato disponibile (cartaceo o digitale) e collocazione fisica (cartelle di sistema per dati digitali, schedari per documenti cartacei). Per i dati cartografici è stato indicato anche il sistema di riferimento.

Per inserire i files disponibili in formato SHP all'interno del database è stato utilizzato il modulo di *Qgis*. Nella figura successiva è possibile vedere la connessione al database PostgreSQL/Postgis e la visualizzazione dei dati utilizzando *Qgis*. La gestione dei dati tabellari e delle relazioni può avvenire in più modi. Si distinguono due casi. Nel primo caso si ha l'esigenza di editare i dati di una tabella legata ad una geometria. È possibile utilizzare a questo scopo l'interfaccia di *Qgis* per modificare i valori delle singole celle e aggiungere o rimuovere colonne.

## **14.2 Rilevamento geomorfologico di campagna**

Il rilevamento geologico di campagna è stato svolto seguendo il classico metodo scientifico basato sull'osservazione e la raccolta dei dati. Le osservazioni, puntuali od areali, effettuate durante il rilevamento in campagna sugli affioramenti rocciosi sono state volte sia alla descrizione delle caratteristiche delle rocce presenti, sia all'individuazione del contesto geologico generale di cui esse sono il fondamento. L'osservazione diretta delle caratteristiche litologiche degli affioramenti, della loro geometria interna, dei rapporti stratigrafici esistenti tra i vari corpi geologici, della struttura e dello stile tettonico dei vari affioramenti, nonché lo studio in sito dei

litotipi, hanno fornito una quantità d'informazioni di rilevante importanza al fine della comprensione dell'assetto geologico del territorio comunale di Forino.

Ciò ha permesso di ricostruire la sezione stratigrafica generale, intesa come l'elemento fondamentale di qualsiasi ricostruzione geologica, rappresentando il prodotto finale capace di condensare tutte le informazioni importanti, acquisite in sede di rilevamento, ai fini della comprensione geologica delle varie problematiche affrontate. Ad essa hanno fatto capo le descrizioni geolitologiche e le interpretazioni di vario tipo (geologiche, sedimentologiche, petrografiche, litologiche, strutturali, ecc.) le quali sono state rese per mezzo di profili stratigrafici in cui le varie facies e le sequenze litologiche sono state disposte secondo la naturale successione verticale. Nella rappresentazione grafica, pertanto, si è voluto esprimere, efficacemente, tutte le peculiarità fisiche, strutturali (tessitura, composizione, spessore, geometria degli strati, strutture fisiche, fratturazione, alterazione, ecc.).

Dopo una prima fase di acquisizione di dati pregressi ha avuto inizio il lavoro di campagna; tale attività ha richiesto molto tempo a causa del grado di dettaglio richiesto per una ricostruzione geomorfologica dell'area finalizzata allo studio della pericolosità di frana.

I rilievi sono stati effettuati ad una scala di lavoro 1:5.000 e 1:2.000, sulle nuove basi topografiche del CTR campane. La trasposizione delle forme del territorio individuate è stata resa più agevole dall'utilizzo di immagini ortorettificate e georeferenziate (ortofoto), sovrapposte alle carte numeriche tramite semplici funzioni di *overlay* in ambiente GIS.

Le campagne di rilevamento si sono svolte nel 2020-2021 e sono state integrate da fotointerpretazione ed analisi di ortofoto e immagini satellitari. Durante il rilevamento sono stati cartografati aspetti e forme del paesaggio riconducibili ai principali agenti morfogenetici, come la gravità, le acque correnti superficiali e l'uomo. Particolare attenzione è stata posta al riconoscimento di elementi che si ritiene possano comportare un pericolo e di indicatori geomorfologici che possano rappresentare indizi precursori di fenomeni di instabilità: orli di scarpata di degradazione o di frana, trincee, contropendenze, scarpate di terrazzo fluviale, coni detritici, coni di debris-flow, presenza di fratture di tensione, alvei con tendenza all'approfondimento, grandi coltri detritiche, aree in erosione, aree interessate da creep e soliflusso. Da un punto di vista morfodinamico le forme e i depositi sono stati distinti in attivi, quiescenti ed inattivi.

L'attività di campagna ha inoltre consentito di individuare la presenza di caratteri fisici del territorio che rappresentano fattori predisponenti di fenomeni di instabilità, quali caratteri litologici, clivometrici e giacaturali nonché caratteri relativi alle coperture detritiche superficiali. Il lavoro sul terreno ha consentito di realizzare varie carte tematiche in scala 1:5.000 del territorio comunale e, conseguentemente, una carta della stabilità dei versanti e di microzonazione sismica. Le frane individuate dall'Autorità di Bacino sono state verificate e classificate in base al loro tipo di movimento (Cruden e Varnes, 1996), allo stato di attività.

Sono state riconosciute frane di diverso tipo: scorrimenti rotazionali, scorrimenti traslazionali, colate di terra e di detrito, crolli e frane complesse.

## 15. Descrizione delle carte tematiche

Il rilevamento geologico è stato effettuato su carte topografiche in scala 1:5000 ed è stato integrato dall'analisi delle cartografie disponibili per il territorio in esame. Ciò ha consentito di realizzare tutte le cartografie tematiche per il territorio comunale di Forino i cui elementi fondamentali sono stati poi opportunamente digitalizzati e georeferenziati in modo da poter essere trattati facilmente in ambito GIS.

### 15.1 Tavola G2 - Carta di ubicazione delle indagini geognostiche

Su questo elaborato è riportata l'ubicazione delle indagini geognostiche e geofisiche disponibili (P.R.G. di Forino, altri lavori pubblici e privati eseguiti dallo scrivente e da altri professionisti) e di nuova realizzazione, consistenti in prospezioni sismiche superficiali tipo M.A.S.W. (Fig. 81).

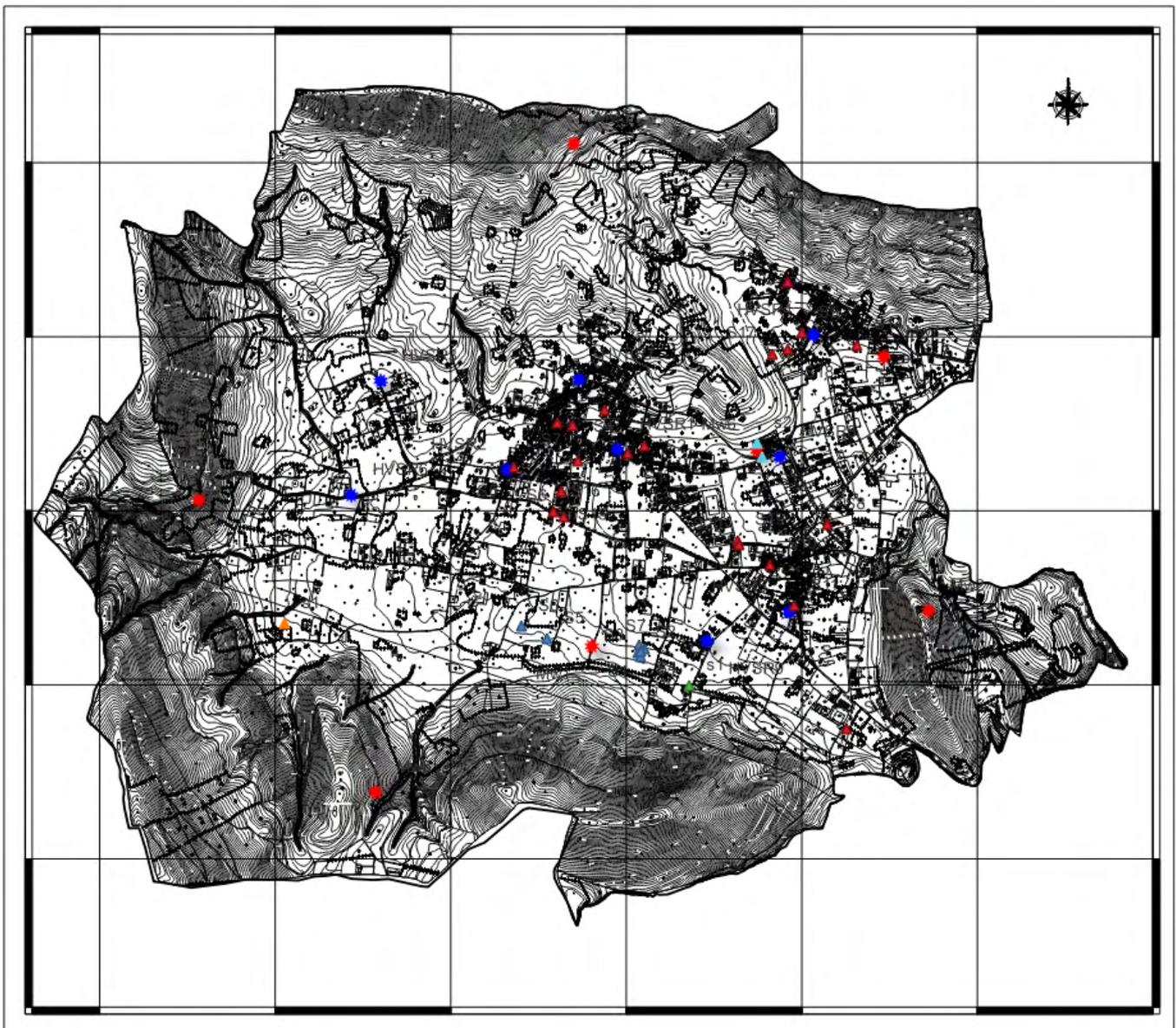


Fig. 81 - Tavola G1: Carta di ubicazione delle indagini geognostiche

## 15.2 Tavola G3 - Carta geolitologica e strutturale del substrato

La carta geolitologica e strutturale del substrato (Fig. 82), che rappresenta una delle cartografie di base redatte ai fini del riordino delle conoscenze territoriali, nell'ambito della redazione del Piano Urbanistico Comunale di Forino, è stata desunta a partire dalla cartografia geologica realizzata in studi pregressi, quali la Carta Geologica d'Italia Progetto CARG (scala 1:50.000) e la Carta Geolitologica dell'ex Autorità di Bacino Campania Centrale (scala 1:10.000), integrandola con un dettagliato rilevamento geologico di campagna.

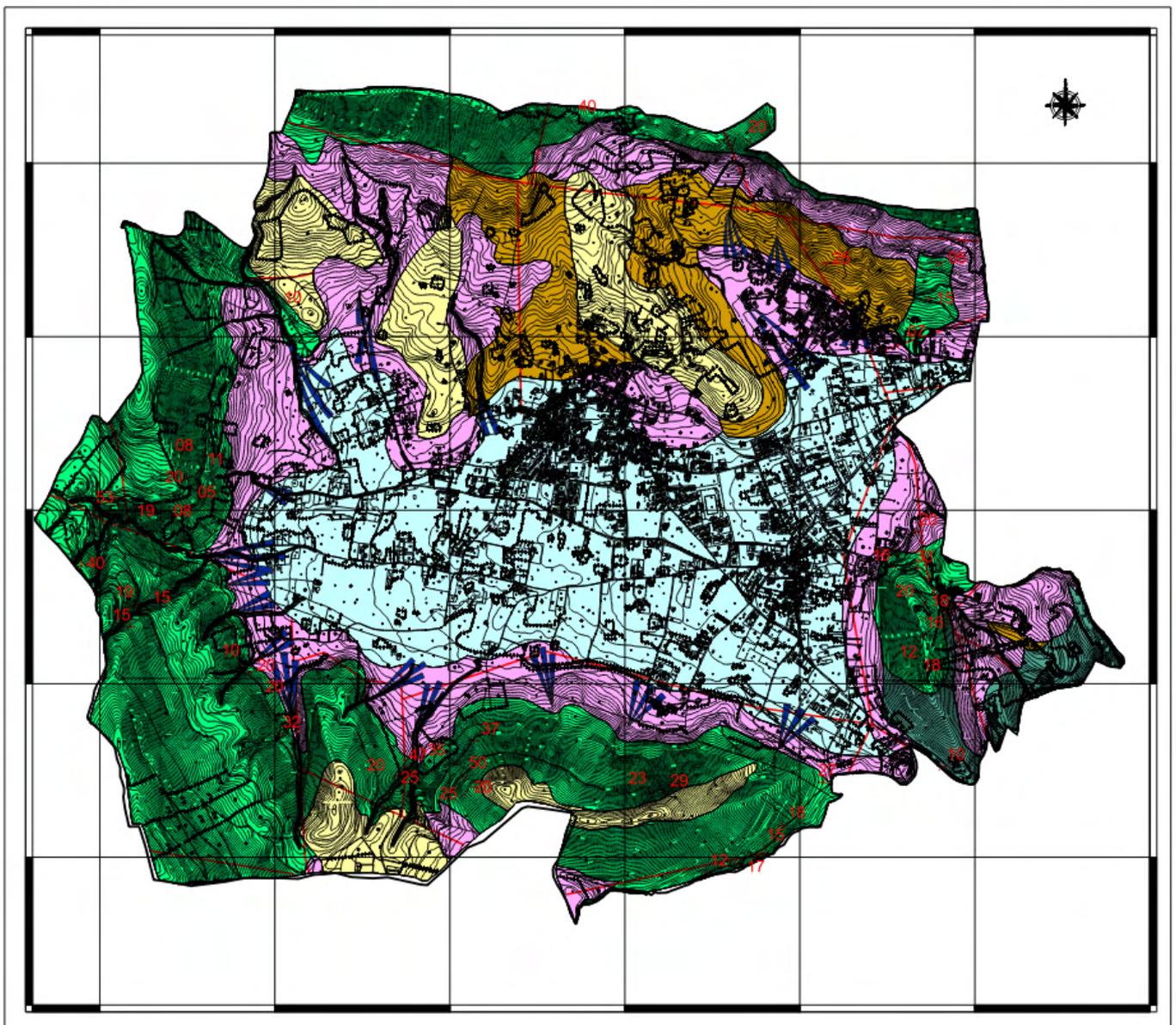


Fig. 82 - Tavola G3: Carta geolitologica

Il rilevamento geolitologico ha permesso di individuare le diverse litologie suddivise in terreni del substrato e depositi continentali e di transizione.

La redazione della carta geolitologica è avvenuta mediante un rilevamento di campagna per una carta geologica tradizionale con approfondimenti di tipo idrogeologico e strutturale, e nella

sua stesura, si è tenuto conto dei richiami formazionali e della tettonica principale. Le informazioni così ottenute, sono state riviste, uniformate ed integrate nel quadro delle nuove conoscenze geologiche per ottenere un quadro omogeneo delle principali caratteristiche geolitologiche.

Questo elaborato deriva dall'accorpamento delle formazioni presenti nella carta geologica al fine di raggruppare le unità litostratigrafiche omogenee sotto il profilo delle caratteristiche litotecniche più salienti, mettendo in evidenza, soprattutto, i rapporti stratigrafici e strutturali delle unità litologiche affioranti nell'area di studio, con particolare attenzione ai sedimenti sciolti.

In sintesi, la Carta Geolitologica e strutturale del substrato:

- evidenzia i caratteri litologici, stratigrafici e strutturali delle successioni presenti nell'areale oggetto del rilevamento;
- descrive i caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, precisandone, ove possibile, anche l'originario ambiente di formazione;
- interpreta l'evoluzione stratigrafica e strutturale passata in relazione anche alle forme del rilievo riferibili a regimi morfoclimatici e geodinamici, anche diversi da quello attuale;
- ricostruisce la più probabile sequenza cronologica relativa e/o assoluta degli eventi;
- definisce il controllo che esercitano la litologia e gli elementi tettonici sulla circolazione delle acque superficiali e sotterranee.

Di seguito viene riportata in modo schematico la sequenza stratigrafica delle formazioni litologiche presenti nell'area. Esse sono riferibili ad un ampio arco temporale che va dal Cretacico al Quaternario. Le formazioni geologiche presenti nel comprensorio comunale a partire dai terreni più recenti a quelli più antichi.

## **DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI**

### **UNITA' NON DISTINTE IN BASE AL BACINO DI PERTINENZA**

### **UNITA' IN FORMAZIONE**

#### **Depositi di versante eluvio-colluviali, detriti ed accumuli di frana (Dt2a)**

Depositi incoerenti, direttamente a contatto con il substrato calcareo, costituiti in prevalenza da pietrisco calcareo eterometrico con matrice arenitica e/o piroclastica del tipo tessiturale limoso sabbioso; depositi pseudocoerenti a tessitura sabbioso-limosa e a composizione cineritica, di colore dal giallo ocra chiaro al bruno rossiccio, con elementi clastici carbonatici dispersi.

Detrito di falda caratterizzato da alternanza di sabbie e ghiaie con clasti prevalentemente calcarei, più abbondanti in vicinanza dei rilievi e depositi rimaneggiati piroclastici di caduta; colluvioni vulcanoclastiche. Entro il detrito di versante si trovano anche blocchi da 0,5 mc ad alcuni metri cubi di natura calcarea. Breccie eterometriche e massive, con clasti calcarei a supporto di matrice arenitica e/o piroclastica con tessitura sabbioso-limosa e colore variabile dal giallo-ocra chiaro al bruno-rossiccio; intercalazioni di lenti o livelli di sabbie e limi con clasti poligenici dispersi.

Accumuli di frana con frammenti litoidi di varia dimensione in matrice fine di composizione cineritica messi in posto secondo processi del tipo "colata", "debris flow, mud flow, earth flow".

Tali depositi, nell'insieme, sono organizzati in coni detritici isolati o coalescenti. Nelle porzioni superficiali affiorano depositi solitamente incoerenti, talora debolmente coesivi, a tessitura prevalentemente sabbioso-limosa, con materiale rimaneggiato di origine piroclastica e subordinatamente detrito calcareo e/o piroclastiti in giacitura primaria; paleosuoli.

Limite inferiore sui terreni del substrato pre-quadernario e su PNV; limite superiore coincidente con la superficie topografica. Lo spessore varia da pochi metri ad una decina di metri. Età: OLOCENE - ATTUALE

### **Depositi di conca endoreica (Piana di Forino) (Dce)**

Limi e sabbie fini in strati lentiformi, gradati, con intercalati livelli detritici calcarei o pomicei in matrice limoso-siltosa di natura piroclastica e livelli piroclastici in giacitura primaria. Silt argillosi e argille grigie con alternanze di sabbie argillose a composizione piroclastica.

Ambiente di deposizione palustre e/o lacustre. Nell'area della Piana di Forino, verso il pedemonte carbonatico, sono parzialmente mascherate da "Dt2a" (depositi di versante eluvio-colluviali). Lo spessore, determinato in sondaggio, può raggiungere e superare in più punti i 20 m circa. Età: OLOCENE p.p. - ATTUALE

## **UNITA' COMPLETAMENTE FORMATE**

### **Unità vulcaniche e unità sedimentarie associate**

#### **Unità di Piano delle Selve (PNV)**

Depositi piroclastici da caduta, in giacitura primaria conforme alla superficie topografica preesistente; sono costituiti da ceneri e lapilli pomicei; le ceneri sono di colore variabile dal giallo ocra chiaro al bruno e al rossiccio; alcuni livelli risultano parzialmente pedogenizzati. Il deposito deriva principalmente dal fall-out delle eruzioni pliniane del centro eruttivo del Somma-Vesuvio (piroclastiti di Mercato, Avellino e Pollena), nonché, dell'evento eruttivo del 1944.

In subordine sono presenti depositi detritico-colluviali sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi a composizione vulcanica e con livelli contenenti clasti carbonatici con diverso grado di alterazione nella parte più superficiale. La superficie di appoggio basale è al contatto con tutte le unità pre-quadernarie. I depositi dell'unità coprono in maniera più o meno continua i versanti e le paleosuperfici sommitali dei rilievi appenninici.

Gli spessori maggiori raggiungono circa 8 m nelle aree di fondovalle e si riducono a 2-3 m in corrispondenza dei rilievi collinari e montuosi. Età: OLOCENE

## **UNITA' DI MONTE SERRONE**

### **Formazione di Corleto Perticara (UCP)**

Marne, calcari marnosi, argille siltose e calcareniti di Serrone (Avellino). Marne da calcaree ad argille e calcari marnosi di colore grigio, calcilutiti e rare calcareniti torbiditiche e calciruditi bioclastiche con alveoline e nummuliti, con frequenti intercalazioni sottili di argilliti policrome e arenarie grossolane litiche, arenarie micacee ed argille siltose.

Argille marnose grigie, rossastre o verdognole, talora straterellate, con subordinate intercalazioni di calcareniti e calcilutiti torbiditiche in strati medi e sottili, calcari marnosi, marne silicifere di colore giallastro, bruno o verdognolo. Età: MIOCENE INFERIORE (?) - PALEOGENE

## **UNITA' TETTONICHE DI PROVENIENZA PALEOGEOGRAFICA ESTERNA**

### **UNITA' DELLA PIATTAFORMA APPENNINICA**

### **UNITA' DEI MONTI LATTARI - MONTI PICENTINI**

### **Calcari con Requiene e Gasteropodi (CRO)**

Alternanze di dolomie cristalline grigie, calcari micritici e biomicritici avana, grigi e marroni, calcari avana chiaro ai quali si intercalano calcari biomicritici ricchi di miliolidae; costituiscono ciclotemi periditali con alla base livelli conglomeratici in matrice marnosa verdastra.

Alla base della successione sono presenti ooliti fibroso raggiate, nella parte alta sono presenti Requienidae, gasteropodi (tra cui Nerineidae). Ambiente di piattaforma interna con facies lagunari di piana tidale. Spessore stimato non inferiore a 600 m. Età: NEOCOMIANO p.p. - CENOMANIANO

### **Calcari a Radiolariti (RDT)**

Calcari e calcari dolomitici di colore grigio, biancastro o avana costituenti ciclotemi periditali con frequenti intercalazioni di dolomie grigie e calcari clastici ricchi in rudiste (Radiolitidae, Hippuritidae). Ambiente di piattaforma interna con facies lagunari di piana tidale. Lo spessore è stimato in circa 300 m. Età: TURONIANO - CAMPANIANO

### 15.3 Tavola G4 - Carta delle coperture sciolte

La carta delle coperture sciolte (Fig. 83) riporta le coperture individuate durante il rilevamento geologico di campagna con i relativi spessori desunti dall'analisi delle indagini disponibili per il territorio comunale. Tali depositi costituiscono i sedimenti più superficiali di natura residuale, colluviale, piroclastica, detritica o alluvionale.

I depositi delle coperture sono stati distinti utilizzando essenzialmente criteri di carattere litologico, granulometrico e genetico.

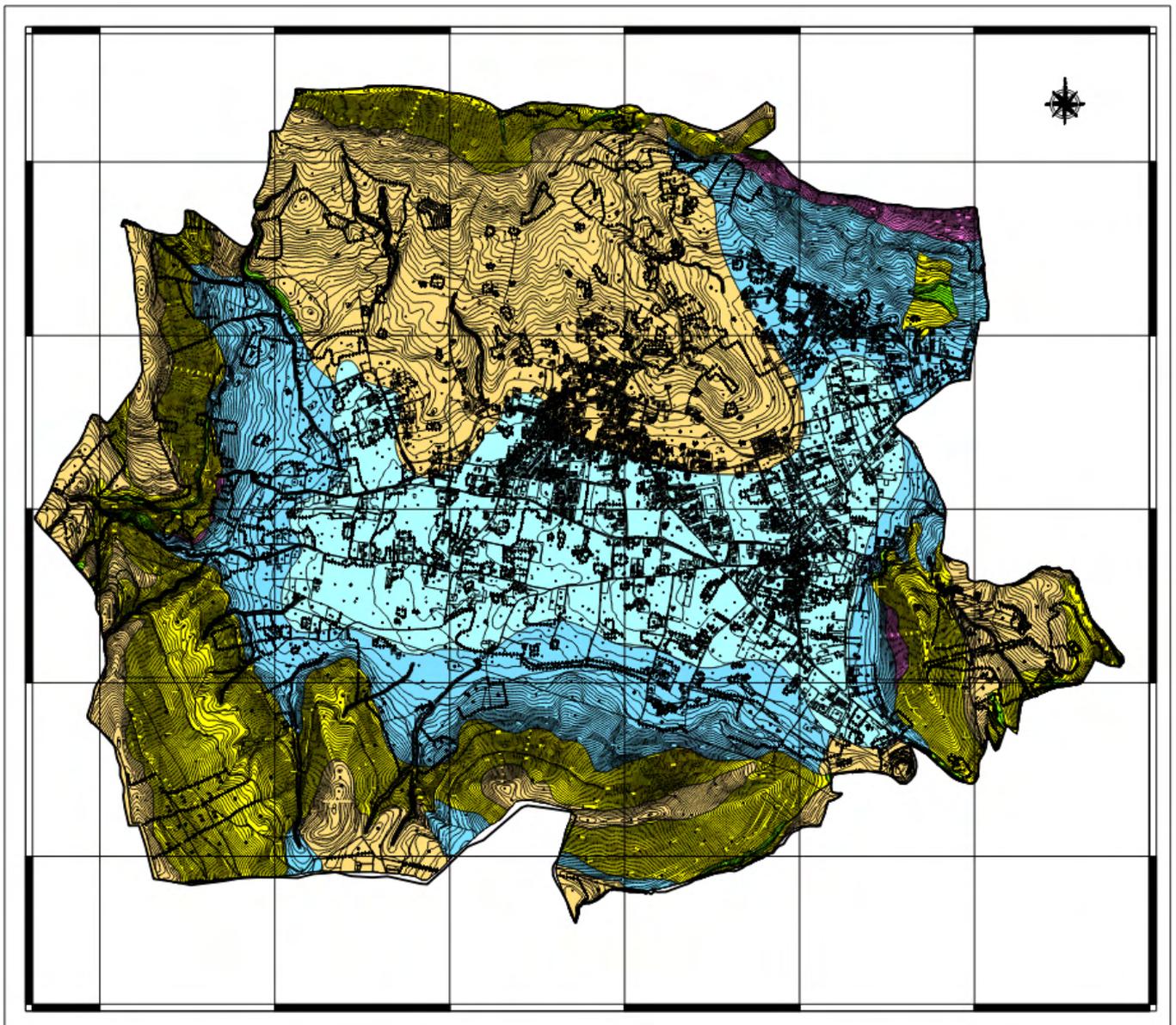


Fig. 83 - Tavola G4: Carta delle coperture sciolte

Il criterio genetico ha consentito di tenere separati i vari depositi, anche con caratteri granulometrici molto simili, sulla base della stretta dipendenza dalla locale conformazione morfologica del versante e dai processi di erosione, trasporto ed accumulo intervenuti.

Le coperture sono costituite da sedimenti sciolti prevalentemente di natura limo sabbiosa, da piroclastiti humificate e da materiale detritico misto a limo sabbioso come di seguito descritto.

**PP - Depositi piroclastici di caduta prevalentemente in giacitura primaria**, stratificati, costituenti alternanza di ceneri, lapilli e pomici che colmano le conche endoreiche e le piane alluvionali; depositi piroclastici di caduta da poco rimaneggiati, sulle aree sommitali e/o con pendenze moderate dei rilievi, a sensibilmente rimaneggiati, lungo i versanti.

I depositi in giacitura primaria si presentano stratificati con giacitura di regola conformi alla morfologia del substrato. Quelli pomicei sono costituiti principalmente da lapilli e/o blocchi essenzialmente sciolti, privi o con scarsa cenere intergranulare, con gradazione inverse generalmente multiple.

Alla base di ogni livello gradato e in generale alla base del deposito si rinvencono pomici (subordinatamente anche scorie e frammenti litici) millimetriche e/o sub-millimetriche con abbondanti cristalli di un numero ristretto di specie mineralogiche (tali livelli presentano in generale una granulometria variabile da quella di una ghiaia fine a quelle di una sabbia grossolana) il loro spessore è significativo solo alla base del deposito e può raggiungere anche qualche decimetro. Tali depositi si sono originati principalmente dall'eruzione di Avellino (circa 3.700 anni fa), da quelle di Pollena (472 d.C.) e dall'evento eruttivo del 1944.

**PR - Depositi piroclastici prevalentemente rimaneggiati ubicati sui versanti**; i caratteri generali del deposito rispondono al tipo tessiturale della sabbia e del limo a composizione con nuvole e/o singoli elementi flottanti di clasti calcarei e pomici subarrotondate.

In genere, tali depositi, risultano di colore marrone scuro e contengono pomici da millimetriche a centimetriche di colore grigio-chiaro biancastro, con clasti calcarei eterometrici subarrotondati e talora sottili livelli (2-5 cm) discontinui di sabbie vulcaniche pisolitiche e di ceneri; spessore variabile, compreso tra i 0,5 e 5 metri nei Monti di Forino. In alcuni casi risultano areati o mediamente addensati e costituiscono paleosuoli.

**Dce - Depositi di conca endoreica (Piana di Forino)**. Limi e sabbie fini in strati lentoformi, gradati, con intercalati livelli detritici calcarei o pomicei in matrice limoso-siltosa di natura piroclastica e livelli piroclastici in giacitura primaria.

**Dt2a - Depositi di versante eluvio-colluviali, detriti ed accumuli di frana**. Depositi incoerenti, direttamente a contatto con il substrato calcareo, costituiti in prevalenza da pietrisco calcareo eterometrico con matrice arenitica e/o piroclastica del tipo tessiturale limoso sabbioso; depositi pseudocoerenti a tessitura sabbioso-limoso e a composizione cineritica, di colore dal giallo ocra chiaro al bruno rossiccio, con elementi clastici carbonatici dispersi.

Detrito di falda caratterizzato da alternanza di sabbie e ghiaie con clasti prevalentemente calcarei, più abbondanti in vicinanza dei rilievi e depositi rimaneggiati piroclastici di caduta; colluvioni vulcanoclastiche.

Accumuli di frana con frammenti litoidi di varia dimensione in matrice fine di composizione cineritica messi in posto secondo processi del tipo "colata", "debris flow, mud flow, earth flow". Tali depositi, nell'insieme, sono organizzati in coni detritici isolati o coalescenti.

Nelle porzioni superficiali affiorano depositi solitamente incoerenti, talora debolmente coesivi, a tessitura prevalentemente sabbioso-limosa, con materiale rimaneggiato di origine piroclastica e subordinatamente detrito calcareo e/o piroclastiti in giacitura primaria; paleosuoli.

***Dt1a - Depositi di versante a grossi blocchi.*** Entro il detrito di versante prevalgono blocchi da 0,5 mc ad alcuni metri cubi di natura calcarea.

***CMT – Calcari.*** Calcari e calcari dolomitici, ricchi di rudiste, di colore grigio, biancastro o avana, in strati da spessi a medi, con frequenti intercalazioni di dolomie grigie.

Alternanza di dolomie cristalline grigie, calcari micritici e biomicritici avana, grigi e marroni con rare intercalazioni di conglomerati con matrice marnosa verdastra.

#### 15.4 Tavola G5 - Carta dello spessore delle coperture sciolte

La carta dello spessore delle coperture sciolte (Fig. 84) riporta, appunto, lo spessore delle classi omogenee individuate. La ricostruzione della distribuzione degli spessori dei depositi di copertura è stata rielaborata a partire dalla raccolta dei dati disponibili dalla letteratura scientifica relativi alla diffusione soprattutto dei depositi piroclastici da caduta derivanti dagli eventi eruttivi più significativi ai fini dello studio in oggetto (Relazione geologica dell'ex Autorità di Bacino della Campania Centrale).

Tali dati sono stati trattati e aggregati per definire in via preliminare delle macroaree finalizzate alla stima degli spessori attesi.

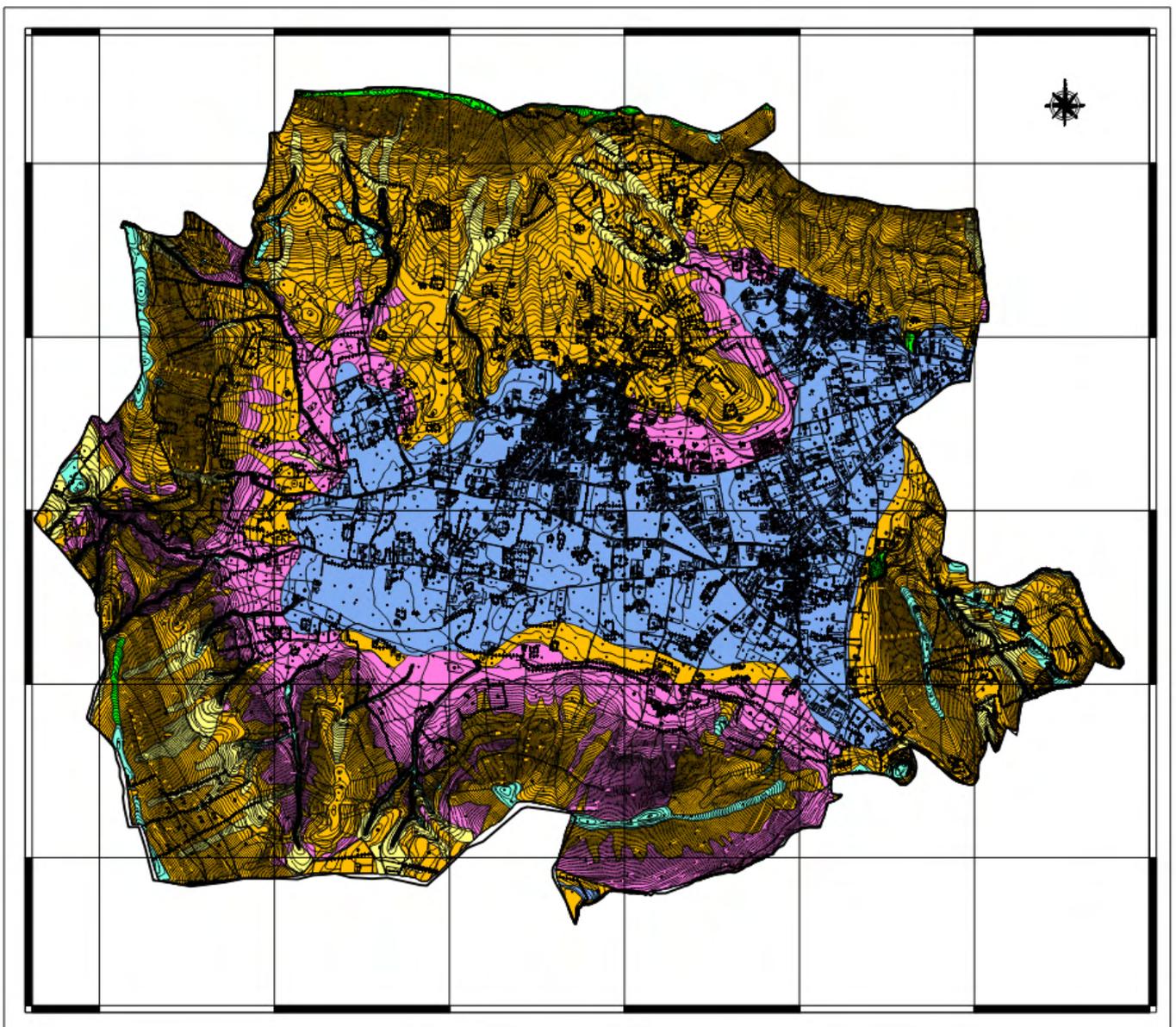


Fig. 84 - Tavola G5: Carta dello spessore delle coperture sciolte

Per la redazione di questa carta sono state utilizzate le seguenti classi di spessore:

**Spessore classe A: da 0,0 a 0,5 m - da 0,5 a 1,0 m**

Tali classi comprendono le seguenti condizioni giaciture: Substrato affiorante o subaffiorante con depositi di copertura in lembi discontinui conservati in tasche e piccole concavità morfologiche; depositi arealmente continui e con spessori condizionati dalla morfologia sepolta del substrato che affiora solo puntualmente.

Substrato litoide costituito da calcari e dolomie della serie carbonatica di piattaforma, su cui sono presenti terreni piroclastici completamente alterati e/o pedogenizzati di limitata estensione areale e di spessore non superiore a 1,0 m.

**Spessore classe B: da 1,0 a 2,0 m - da 2,0 a 3,0 m**

Tali classi comprendono depositi arealmente continui con spessori condizionati dall'assetto morfologico del substrato che affiora solo lungo superfici esposte naturali e/o antropiche.

Coperture di limitato spessore, ma generalmente continue, costituite da terreni piroclastici sciolti e localmente pedogenizzati. Nell'ambito delle coperture si rinvencono livelli discontinui di pomice con abbondante matrice limo-argillosa alterata. Il substrato non è affiorante tranne che in limitati settori.

**Spessore classe C: da 3,0 a 4,0 m - da 4,0 a 5,0 m**

Tali classi comprendono depositi arealmente continui con spessori condizionati dall'assetto morfologico del substrato che affiora raramente e solo in piccoli lembi lungo superfici esposte naturali e/o antropiche.

Colluvioni e terreni piroclastici rimaneggiati, pedogenizzati nella porzione più superficiale, con intercalazioni di livelli di lenti decimetriche di pomice da caduta e livelli di ghiaie di natura calcarea in matrice piroclastica con spessore variabile.

**Spessore classe D: da 5,0 a 10,0 m - > 10,0 m**

Tali classi comprendono sia depositi arealmente continui con spessori condizionati dall'assetto morfologico del substrato non affiorante, sia i depositi delle zone pianeggianti o subpianeggianti di fondovalle e con substrato individuabile solo tramite indagini geognostiche in sito.

Terreni piroclastici rimaneggiati e alterati, intercalati a ghiaie eterometriche e sabbie di conoide e/o piana alluvionale. Nei depositi di piana alluvionale si rinviene intercalato un orizzonte spesso da qualche metro alla decina di metri di Ignimbrite Campana.

In corrispondenza delle conoidi si rinvencono lenti di pomice da caduta e rimaneggiate, arrotondate, di dimensioni variabili da alcuni mm fino a qualche cm, intercalate a livelli lenticolari di ghiaie di natura calcarea in matrice piroclastica più o meno abbondante. Depositati piroclastici rimaneggiati e pedogenizzati poggiati su pomice di caduta primaria in scarsa matrice, ubicati in area di conca intramontana.

## 15.5 Tavola G6 - Carta idrologica e dei complessi idrogeologici

Questo elaborato rappresenta in modo sintetico ed in forma globale le principali informazioni idrogeologiche esistenti sul territorio comunale di Forino. Esso rappresenta, quindi, una base di lavoro indispensabile per coloro che operano nel settore, soprattutto per ciò che riguarda la vulnerabilità degli acquiferi e per la ricerca di nuove risorse idriche. La finalità di una carta idrogeologica è di dare informazioni sulle caratteristiche e tipologia delle falde acquifere, sulle unità idrogeologiche, sugli acquiferi e loro rapporti idrogeologici.

Nella carta idrogeologica sono rappresentati i parametri idrogeologici essenziali del territorio. La carta idrogeologica redatta per il PUC è una carta di sintesi: essa consente la lettura del territorio in chiave idrogeologica, fornendo in modo sintetico le principali informazioni sulle condizioni idrodinamiche esistenti all'interno e ai limiti dei singoli domini idrogeologici (Fig. 85).

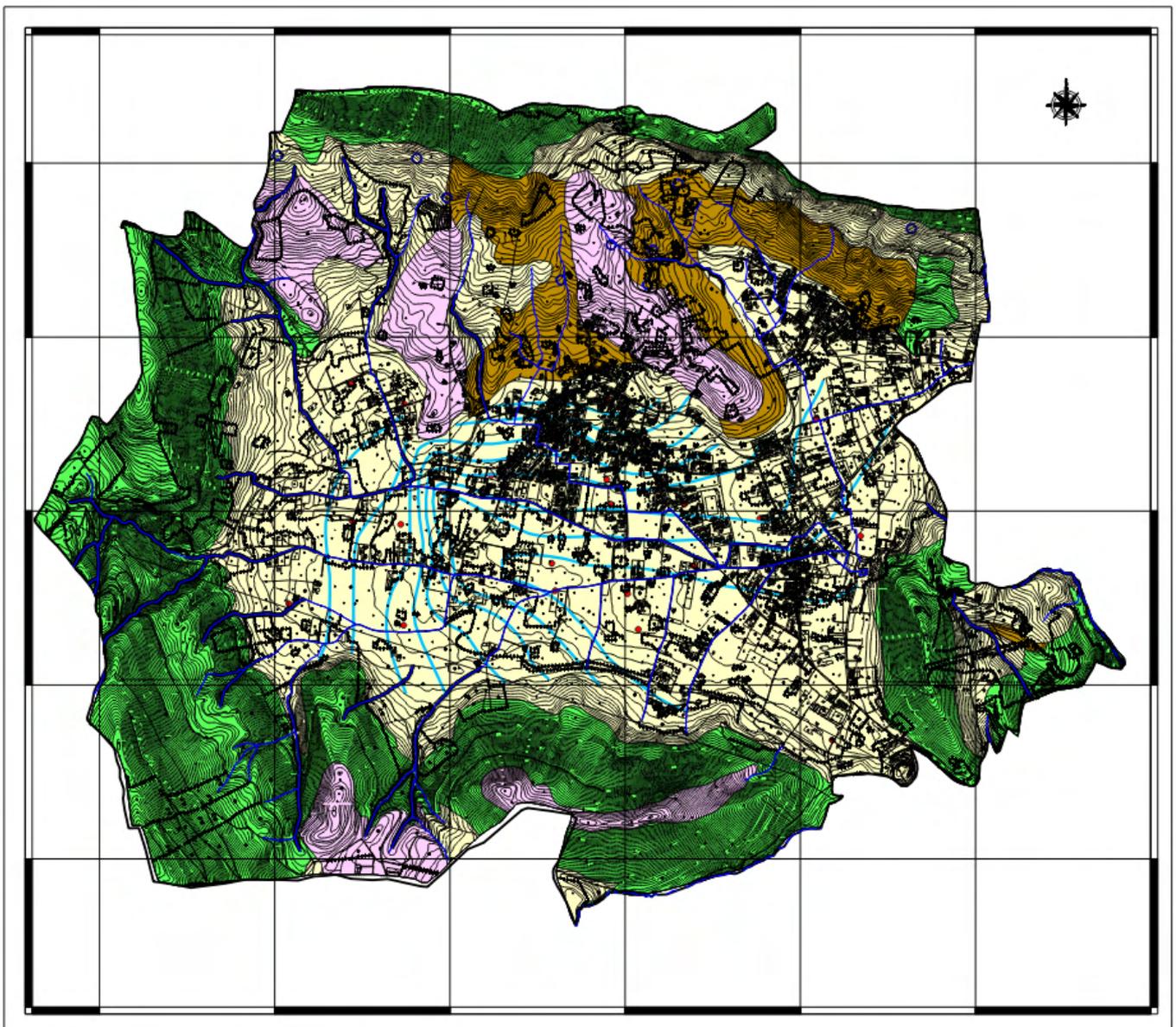


Fig. 85 - Tavola G6: Carta idrologica, dei complessi idrogeologici e del sistema idrografico

Per la redazione della stessa è stato effettuato un dettagliato censimento idrogeologico con individuazioni delle sorgenti e dei pozzi presenti sul territorio. Inoltre, sono stati acquisiti dati idrogeologici puntuali, con misure del livello statico della falda, che hanno consentito la redazione di una carta a curve isopiezometriche, con individuazione dei principali rapporti tra gli acquiferi e l'individuazione delle principali linee di drenaggio preferenziale della falda.

Nella carta idrogeologica i terreni affioranti sono stati suddivisi in complessi idrogeologici costituiti da termini litologici simili, aventi una comprovata unità spaziale e giacitura, un tipo di permeabilità prevalente in comune e un grado di permeabilità relativa che si mantiene in un campo di variazione piuttosto ristretto. La differenziazione tra un complesso ed un altro è data dal grado di permeabilità relativa, indipendentemente dal tipo. Si sono distinti quattro diversi gradi di permeabilità relativa calcolati sia tenendo conto dei parametri statistici come l'analisi granulometrica, l'indice di fratturazione, l'indice di carsificazione, il rendimento specifico (o deflusso sotterraneo medio annuo, espresso in mc/anno per Km<sup>2</sup>), sia, in particolar modo, per confronto con altri complessi adiacenti.

È stato differenziato il comportamento dei complessi idrogeologici presenti, indicandone il relativo grado di permeabilità medio. Le litologie affioranti nella zona sono state suddivise nei seguenti complessi idrogeologici:

**Complesso delle piroclastiti sciolte:** Complesso idrogeologico costituito litologicamente da alternanza di ceneri, lapilli e pomici con granulometria variabile dalla ghiaia fine, alla sabbia fino al limo. Permeabilità da media a bassa per porosità.

**Complesso detritico-alluvionale:** Complesso idrogeologico costituito litologicamente da limi e sabbie fini in strati lentiformi, pietrisco calcareo eterometrico con matrice arenitica e/o piroclastica, depositi pseudocoerenti a tessitura sabbioso-limosa e a composizione cineritica, detrito di falda caratterizzato da alternanza di sabbie e ghiaie con clasti prevalentemente calcarei, colluvioni vulcanoclastiche, accumuli di frana con frammenti litoidi di varia dimensione in matrice fine di composizione cineritica. Permeabilità media per porosità.

**Complesso calcareo-marnoso-argilloso e arenaceo:** Complesso idrogeologico costituito da litologicamente da marne, calcari marnosi, argille siltose, calcilutiti, rare calcareniti e calciruditi bioclastiche, con frequenti intercalazioni sottili di argilliti e arenarie grossolane litiche, arenarie micacee ed argille siltose. Permeabilità bassa per porosità e fratturazione.

**Complesso calcareo-dolomitico:** Complesso idrogeologico costituito litologicamente da calcari e calcari dolomitici, con frequenti intercalazioni di dolomie in strati da spessi a medi e subordinatamente alternanza di dolomie cristalline, calcari micritici e biomicritici e rare intercalazioni di conglomerati con matrice marnosa. Permeabilità da elevata a molto elevata per fratturazione.

## 15.6 Tavola G7 – Modello di elevazione digitale del terreno (DEM)

Questa carta rappresenta il *Modello Digitale del Terreno (DEM)* per il territorio comunale di Forino, ossia il modello matematico attraverso cui è consentita una simulazione numerica della superficie topografica a partire dalle coordinate chilometriche di un punto sul terreno (X,Y) e la sua quota relativa al piano di campagna (Z), riferita al livello del mare.

A partire da un *DEM* è stato possibile inoltre ricondursi, in maniera automatica, alle coperture in formato raster e vettoriale. L'area oggetto di studio è stata in pratica discretizzata sotto forma di celle elementari quadrate, come si verifica nel caso della derivazione di una copertura raster, o sotto forma di poligoni (triangoli), linee (lati dei triangoli) o punti (punti quotati), come nel caso di coperture vettoriali (Fig. 86).

Attraverso specifiche funzioni è stato possibile derivare dal modello digitale del terreno, la struttura di un reticolo idrografico, la pendenza e l'esposizione delle superfici le sezioni, ecc..

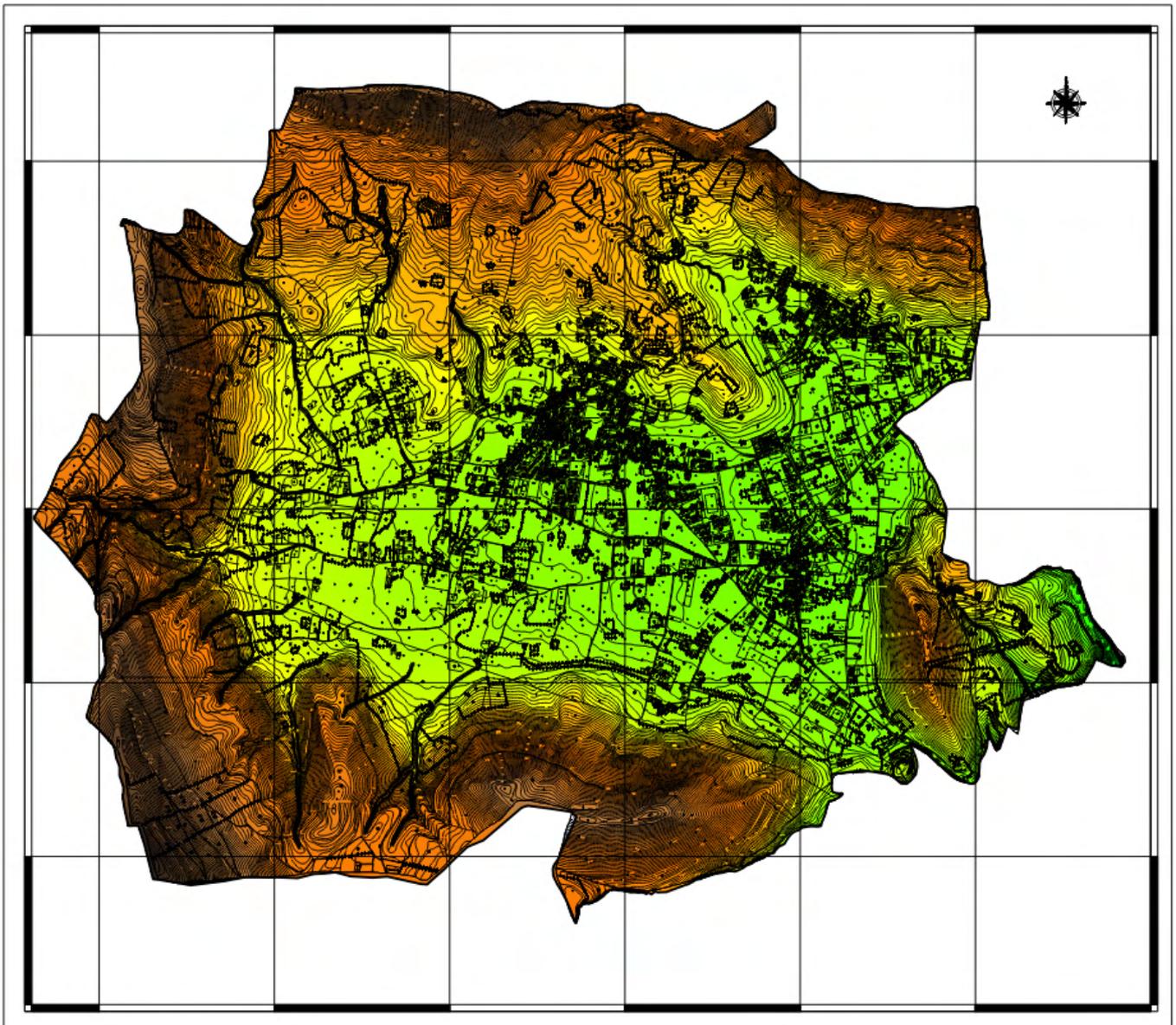


Fig. 86 – Tavola G7: Modello di elevazione digitale del terreno (DEM)

## 15.7 Tavola G8 – Carta clivometrica

Allo scopo di fornire un elaborato cartografico capace di avere una visione generale sull'assetto morfologico del territorio riguardo le condizioni di giacitura degli elementi morfologici elementari, è stata redatta una carta dell'acclività del territorio comunale, sulla base dell'impianto altimetrico in scala 1:5.000, in cui i singoli elementi sono individuati per mezzo di procedure morfologiche che evidenziano tratti di territorio dipendenza e forma costante o varianti entro un intervallo prestabilito.

Le classi di pendenza contigue sono definite in % e coprono il campo da 0 al 50% secondo la suddivisione seguente: 0-10%, 10-20%, 20-35%, 35-50%, >50% (Fig. 87).

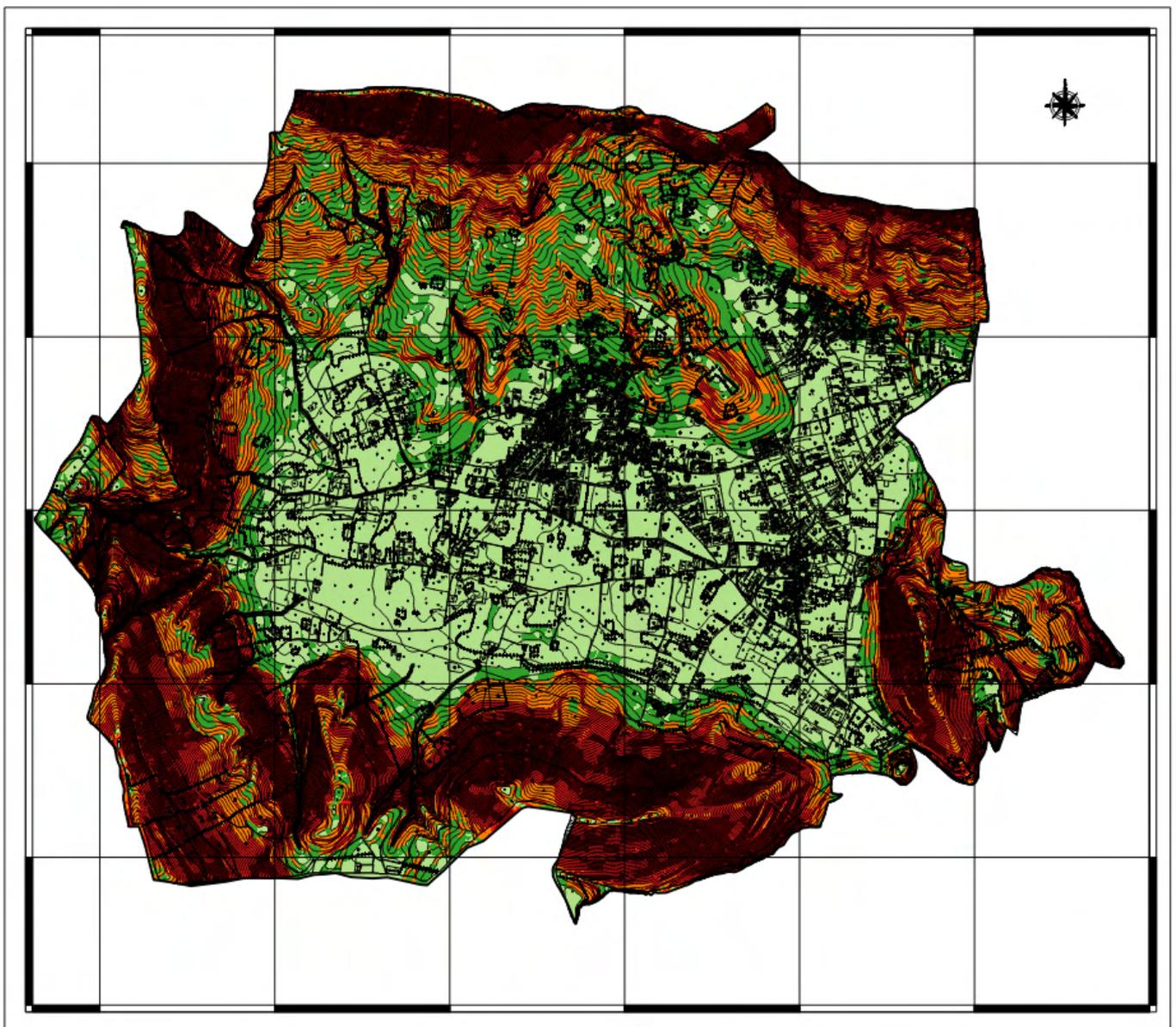


Fig. 87 – Tavola G8: Carta clivometrica

In *Quantum GIS* è presente un apposito modulo per il calcolo della pendenza dei versanti partendo dal modello di elevazione digitale del terreno (DEM). I dati altimetrici sono stati trasformati in forma raster e successivamente, tramite un processo di interpolazione, sono stati calcolati i valori di quota in tutte le celle in cui è stata suddivisa l'area.

Per ovviare che l'elaborato fosse affetto da imprecisioni dovute al processo di interpolazione, è stata effettuata un'operazione di filtraggio, prevista da uno specifico modulo di *QGIS*, che consiste nella sostituzione del valore presente in ciascuna cella, con quello ottenuto interpolando i valori circostanti. La pendenza dei versanti, espressa in percentuale, è stata ottenuta direttamente dall'elaborato così prodotto. Infine alle varie classi di pendenza sono stati assegnati i pesi che variano da - 2 a + 2 nel seguente modo:

< 10% [+2]	10% - 20% [+1]	20% - 35% [0]	35% - 50% [-1]	> 50% [-2]
------------	----------------	---------------	----------------	------------

Tale impostazione, seppur non consente una valutazione puntuale della pendenza dei vari siti, ma piuttosto una valutazione media della pendenza per area, riesce a dare sufficiente informazione sulla morfologia superficiale evidenziando le conformazioni più tipiche del territorio: dossi, creste, dorsale principali, spianate morfologiche e forme vallive di origine fluviale.

Le aree ad acclività accentuata costituiscono la nota dominante dei fianchi vallivi delle principali incisioni fluviali e numerose incisioni torrentizie che esistono nell'ambito del territorio analizzato.

L'accostamento di fasce con valori di pendenza molto diversa è da porre in relazione con l'idrografia superficiale, con la qualità dei tipi litologici presenti, con la franosità ed in alcuni casi con la tettonica e i processi dovuti al ruscellamento superficiale, nonché all'azione antropica che hanno contribuito ad alterare la morfologia originaria. La pendenza (o inclinazione, o acclività) dei versanti viene comunemente considerata uno dei fattori con la maggior influenza sulla stabilità, in base alla constatazione che a un aumento della pendenza corrisponde generalmente un aumento della frequenza dei fenomeni di instabilità.

Tranne che per le prime classi, le cui pendenze rientrano tra le percentuali di inclinazione dei versanti che non richiedono particolari prescrizioni, per le restanti aree a pendenza più elevata, si evidenziano le seguenti osservazioni:

- *Terreni con pendenza tra il 20 e il 35%*: è opportuno che eventuali interventi si effettuino previo ripianamento del pendio previsto in fase di progettazione; i fronti di scavo dovranno essere tutelati da strutture di contenimento opportunamente dimensionate.
- *Terreni con pendenza >35%*: all'interno di questa classe ricadono tutti i fianchi delle incisioni torrentizie e delle principali dorsali che costituiscono le strutture morfologiche più evidenti del territorio esaminato. In questa classe di pendenza si possono osservare fenomeni di rapida erosione, cedimenti gravitativi di forma, tipo ed entità varie. Inoltre, in essa, ricadono versanti molto ripidi (in genere ammassi rocciosi con giacitura sfavorevole degli strati e rilevante fratturazione), e con un grado di instabilità potenziale troppo elevato per potere prevedere l'utilizzazione urbanistica di essi.

## 15.8 Tavola G9 – Carta dell'esposizione (o orientazione) dei versanti

L'orientazione del versante è l'angolo che il vettore di massima pendenza in un punto del versante forma con la direzione del nord. Per analogia con la misura che si effettua sugli strati, può anche essere definita l'immersione del versante.

Nel programma *Quantum GIS* esiste un'apposita funzione (*esposizione* o *aspect*) per il calcolo di questa caratteristica partendo dall'elaborato contenente i dati altimetrici. I valori risultano espressi in gradi, da 0° a 360°, con origine in direzione del nord. (Fig. 88).

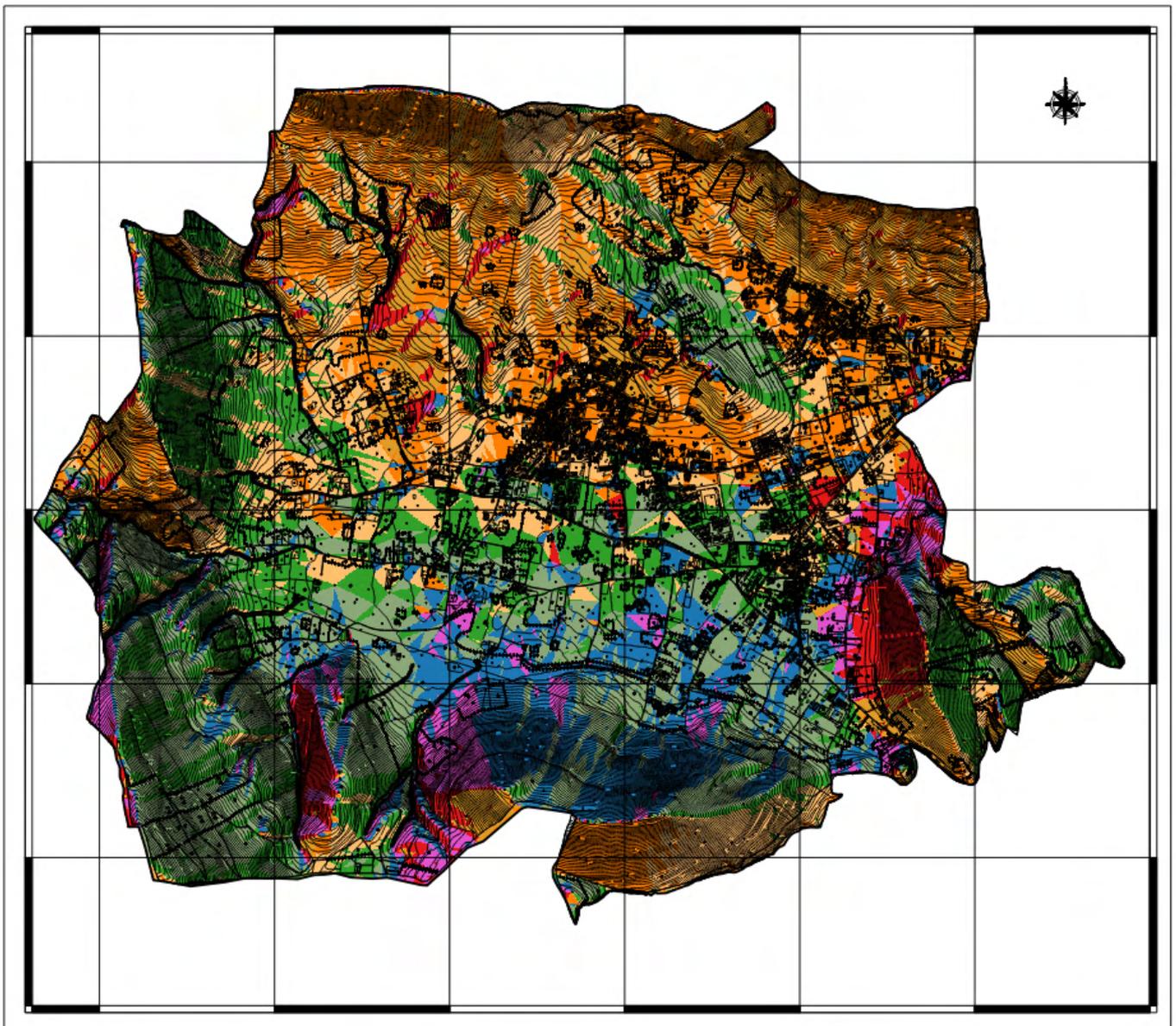


Fig. 88 – Tavola G9: Carta dell'esposizione (o orientazione) dei versanti

## 15.9 Tavola G10 – Carta geomorfologica

La carta geomorfologica rappresenta le forme d'accumulo e d'erosione del rilievo; ne raffigura i caratteri morfografici e morfometrici; ne interpreta l'origine in funzione dei processi geomorfici, endogeni ed esogeni, passati e presenti, che le hanno generate; ne individua la sequenza cronologica, con particolare distinzione fra le forme attive e non attive. I litotipi sono rappresentati da campiture a diversa tonalità. In un tale contesto, la carta geomorfologica, oltre alla sua indiscutibile valenza scientifica, assume un ruolo importante soprattutto per quanto riguarda studi finalizzati alla difesa del suolo. La conoscenza delle caratteristiche fisiche di un dato territorio costituisce, infatti, un dato essenziale per la pianificazione, gestione e programmazione dello stesso. La carta geomorfologica fornisce utili indicazioni per indagini di tipo applicativo, per scelte di salvaguardia ambientale, per la valutazione dei processi capaci di creare condizioni di rischio per persone ed attività socio economiche in generale (Fig. 89).

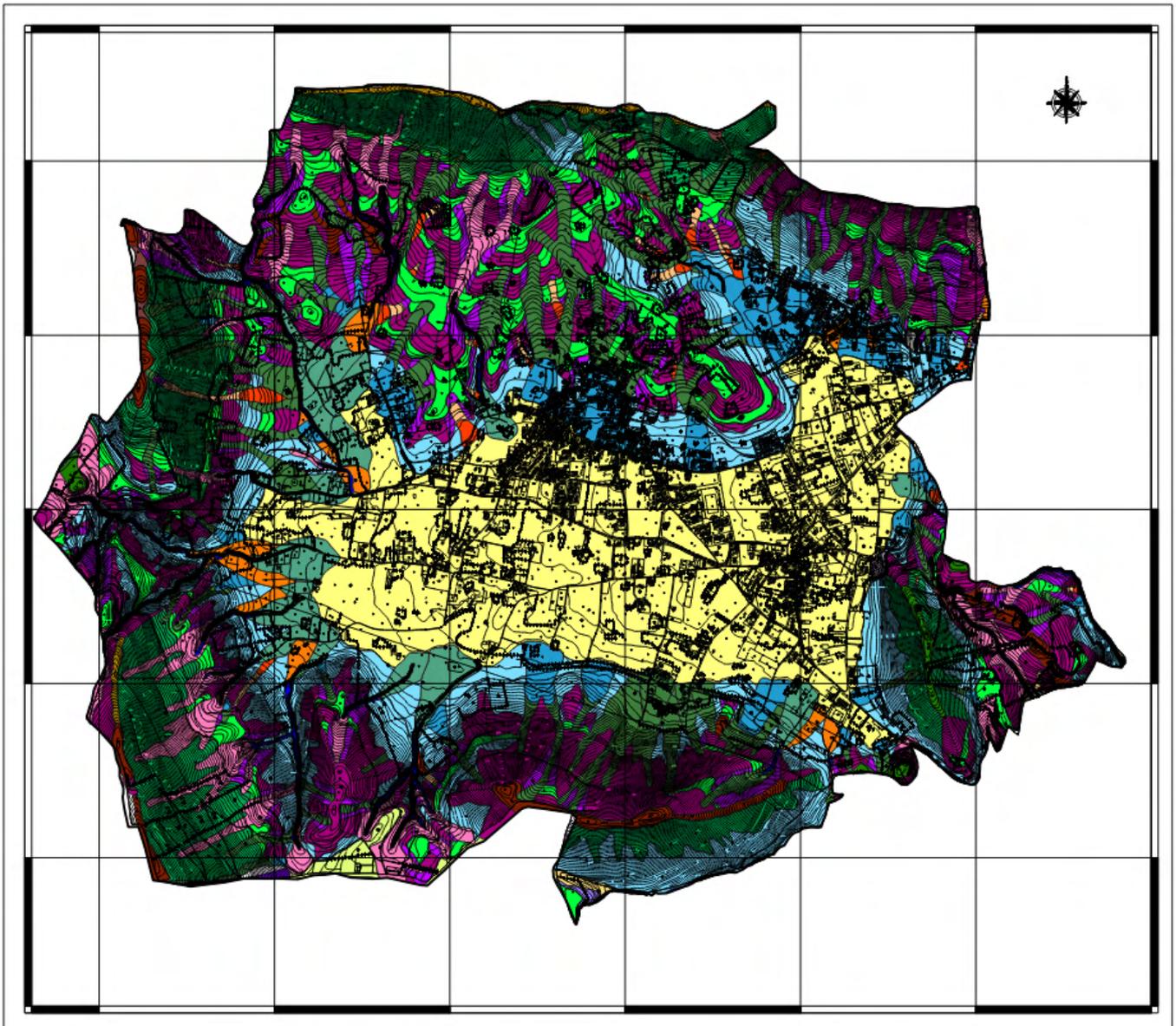


Fig. 89 – Tavola G10: Carta geomorfologica

Lo studio geomorfologico ha permesso il riconoscimento di forme e processi legati a diversi agenti geomorfici nonché alla influenza di altri fattori; di essi viene di seguito riportata la descrizione. I vari morfotipi sono stati raggruppati come di seguito illustrato.

#### UNITÀ MORFOLOGICHE E FORME ASSOCIATE DI GENESI COMPLESSA

Sono entità geomorfologiche di ordine “gerarchico” superiore la cui genesi è il risultato sia del condizionamento litologico-strutturale sia di successive fasi morfogenetiche.

- ✓ **Crinali montuosi e collinari:** aree a debole pendenza ubicate in corrispondenza della culminazione orografica dei rilievi ed in alcuni casi interpretabili come residui di antiche superfici morfologiche. La presenza delle diverse discontinuità tettoniche quali faglie e macrofratture delimitano e dislocano le dorsali, in senso trasversale.
  
- ✓ **Ripiani:** lembi di superfici morfologiche sub-pianeggianti o debolmente inclinate ubicate sia in posizione intermedia sui versanti sia lungo crinali. Tali forme possono sia essere riconducibili a fattori litologico-strutturali, quali dislocazioni tettoniche, assetto giaciturale del substrato, morfoselezione, ecc.; sia avere il significato di superfici di erosione o accumulo riferibili ad antichi livelli di base.
  
- ✓ **Versanti fluvio-denudazionali di bacini imbriferi:** sono legati sia all'erosione lineare legata all'approfondimento del reticolo idrografico sia ai processi di denudazione areale e di massa. Il loro grado di stabilità è direttamente legato alle condizioni litostratigrafiche sia dei depositi di copertura sia dei terreni del substrato.

#### FORME A CONTROLLO LITO-STRUTTURALE

I morfotipi a controllo litostrutturale più significativi sono rappresentati da:

- **Creste o crinali molto serrati:** rappresentano aree di crinale assottigliate da processi erosivi che hanno interessato la parte alta dei versanti; spesso tali morfotipi sono interrotti da salti di pendenza legate sia a fattori strutturali sia a fattori litologici.
  
- **Versanti litostrutturali:** rappresentano areali dove i processi di erosione sono controllati principalmente dalla giacitura degli strati, dall'orientamento della fratturazione e dalla competenza dei litotipi affioranti.
  
- **Scarpate:** rappresentano salti morfologici riconducibili principalmente a fenomeni di morfoselezione. Essi sono stati distinti in base al loro grado di evoluzione geomorfologica e rappresentano aree di innesco e alimentazione di crolli e flussi detritici.

### FORME DI VERSANTE DOVUTE ALLA GRAVITA'

Le principali forme appartenenti a tale gruppo sono rappresentate dalle aree in frana distinte per zona di nicchia, di transito e di cumulo.

Le tipologie delle frane, invece, sono descritte nella "Tavola G11 - Carta inventario delle frane".

### FORME FLUVIALI E DI VERSANTE DOVUTE AL DILAVAMENTO

- **Zob (Zero Order Basins):** depressioni concave sviluppate in corrispondenza delle zone apicali delle testate d'impluvio di primo ordine gerarchico. Rappresentano aree di accumulo preferenziale di depositi, generalmente sciolti, di origine piroclastica e detritico-colluviale.
- **Conoidi e talus colluviali:** rappresentano forme di accumulo, di pendice collinare e di piedimonte, originate da processi eluvio-colluviali. In particolare le prime sono situate allo sbocco di impluvi di limitata estensione e bassa pendenza nei quali non è sviluppato un vero e proprio reticolo drenante.
- **Conoidi detritico-alluvionali:** rappresentano zone di invasione allo sbocco dei valloni montani, dove il gradiente topografico si riduce e i flussi provenienti dai versanti, dapprima incanalati, possono perdere velocità e capacità di trasporto, espandendosi e depositando materiali grossolani e fini con scarsissima selezione.

## 15.10 Tavola G11 – Carta inventario delle frane

La Carta inventario delle frane dell'ex Autorità di Bacino Campania Centrale rappresenta i fenomeni franosi suddivisi in base alla tipologia, al cinematismo, allo stato di attività ed ai materiali coinvolti.

Le diverse tipologie franose rilevate sono state riaggregate in gruppi in funzione del cinematismo prevalente e dei caratteri morfodinamici. Nel territorio comunale di Forino sono stati riconosciuti in totale n°44 fenomeni franosi (Fig. 90).

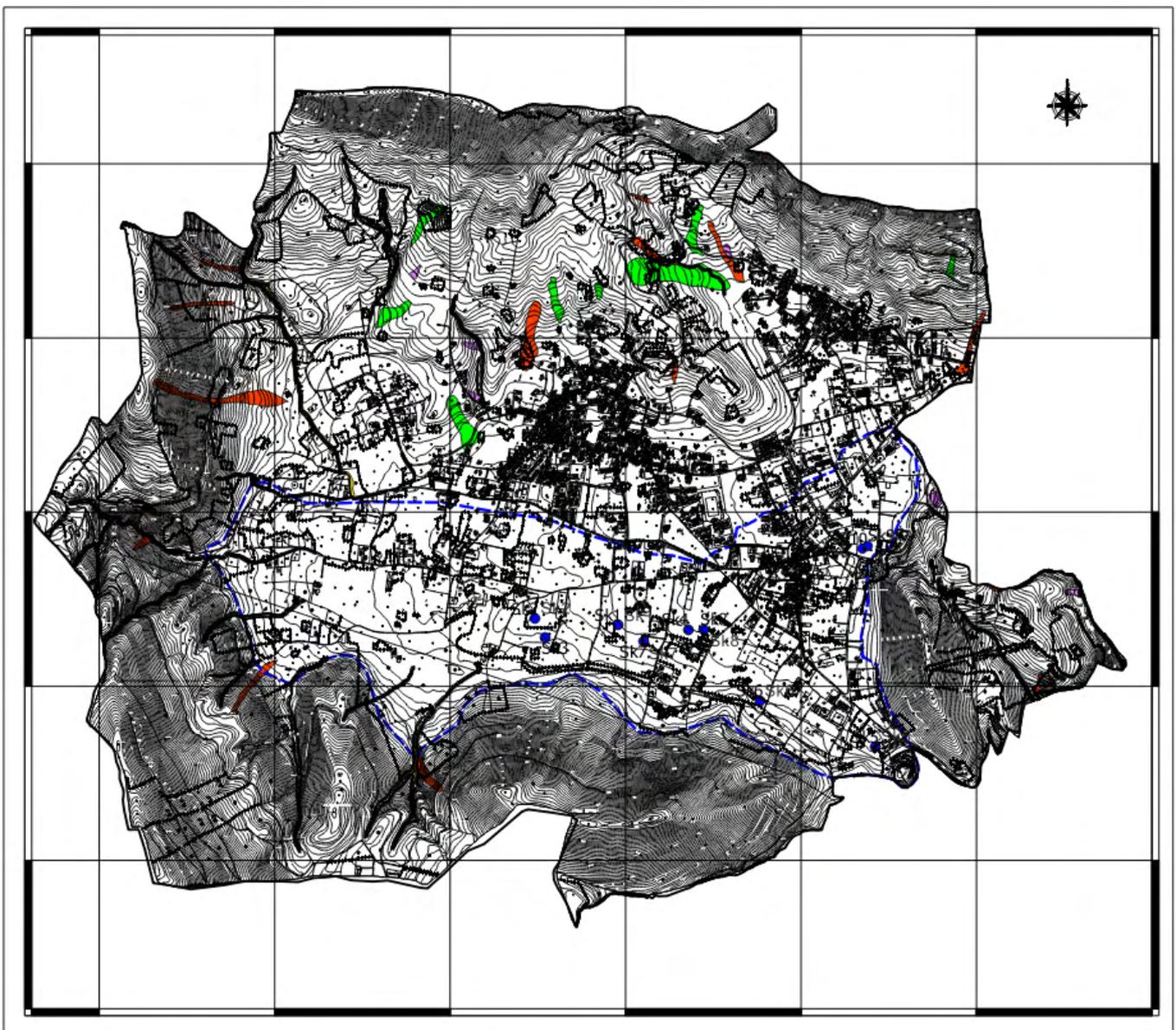


Fig. 90 – Tavola G11: Carta inventario delle frane dell'ex Autorità di Bacino Campania Centrale

Tali fenomeni franosi sono stati suddivisi nelle tipologie di seguito descritte.

- **N°8 colate lente**

Questi fenomeni franosi si verificano laddove sono presenti spessori significativi di depositi di copertura a comportamento plastico e/o terreni del substrato a prevalente litologia argilloso-marnosa. Tali frane presentano una morfologia caratterizzata da tipiche ondulazioni della superficie topografica con raggio di curvatura da metrica a decametrica.

Esse sono presenti soprattutto in forma complessa scorrimento – colata; a luoghi la fase di colamento può essere preceduta da una fase di deformazione lenta, tipo creep, della copertura colluviale a riempimento delle concavità morfologiche.

- **N°16 colate rapide di fango**

Le colate rapide di fango si verificano in corrispondenza dei versanti carbonatici con copertura piroclastica. Esse sono caratterizzate dalla mobilitazione improvvisa di masse di materiale con alto contenuto d'acqua che, spostandosi verso valle ad elevata velocità, possono aumentare di volume per assimilazione, lungo il loro percorso, di materiali erosi direttamente dal versante o da preesistenti vallecole.

Tali materiali possono raggiungere direttamente le aree di piedimonte a minore acclività esaurendo la loro energia, oppure possono incanalarsi lungo zone di deflusso già esistenti, talora raggiungendo le aree di conoide detritico alluvionale dove il materiale si espande ricoprendo superfici proporzionali alla massa mobilizzata.

- **N°3 colate rapide di detrito**

Si verificano in corrispondenza di alcuni versanti carbonatici a morfologia accidentata, caratterizzati dalla presenza, nelle zone apicali, nelle testate di impluvio o lungo tratti di canale a forte acclività, di detriti di versante a granulometria grossolana.

Tali materiali, dopo essere stati mobilizzati a seguito di un improvviso distacco, tendono ad invadere, sotto forma di "flussi" misti di acqua e detriti, le zone di piedimonte, dove possono raggiungere le aree di conoide o la falda detritica.

- **N°7 scorrimenti rotazionali**

Laddove le litologie del substrato sono rappresentate da terreni a comportamento geotecnico complesso. Essi si verificano per superamento della resistenza di taglio del terreno lungo superfici di neoformazione talora associate a superfici preesistenti (contatto tra materiali di copertura e substrato, contatto tra la porzione alterata e quella integra di un ammasso roccioso, ecc.).

Tali frane presentano un aspetto morfologico tipico, più o meno riconoscibile in funzione dell'età e dello stato di attività, caratterizzato da una zona di distacco con scarpata principale ad andamento arcuato; un terrazzo di testa di frana talora ruotato in contropendenza rispetto all'andamento del versante; blocchi secondari delimitati da fessure longitudinali.

Il materiale mobilizzato può continuare il suo movimento, a seconda della natura litologica e del contenuto d'acqua, attraverso meccanismi di colata sia lenta che rapida, dando luogo a frane ad evoluzione complessa.

- **N° 10 sinkhole**

Sono fenomeni rappresentati da sprofondamenti improvvisi della superficie topografica, con apertura di voragini di forma generalmente circolare profonde anche decine di metri, che possono verificarsi anche in aree pianeggianti, senza evidenze morfologiche in superficie.

I materiali coinvolti sono costituiti prevalentemente da depositi incoerenti in strati a differente permeabilità e depositi sabbiosi soggetti a fenomeni di erosione sotterranea a causa della circolazione di acqua in pressione nel sottosuolo (suffosione).

Il diametro massimo riscontrato nella Piana di Forino è di 20 m mentre la profondità massima è di circa 25 m.

### 15.11 Tavola G12 – Carta delle aree a maggior pericolosità geomorfologica

L'obiettivo della carta delle aree a maggiore pericolosità geomorfologica è quello di evidenziare le particolari problematiche di carattere geologico e geomorfologico che sussistono in determinate aree.

In tal modo si sono individuate tutte quelle zone in cui sono presenti fenomeni attivi e relative aree di influenza, aree in cui sono presenti fenomeni franosi quiescenti, aree con indizi di instabilità connessi alla giacitura, all'acclività, alla litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee, nonché aree in cui sono presenti elementi geomorfologici, litologici e giaciturali dalla cui valutazione risulta una maggiore propensione al dissesto (Fig. 91).

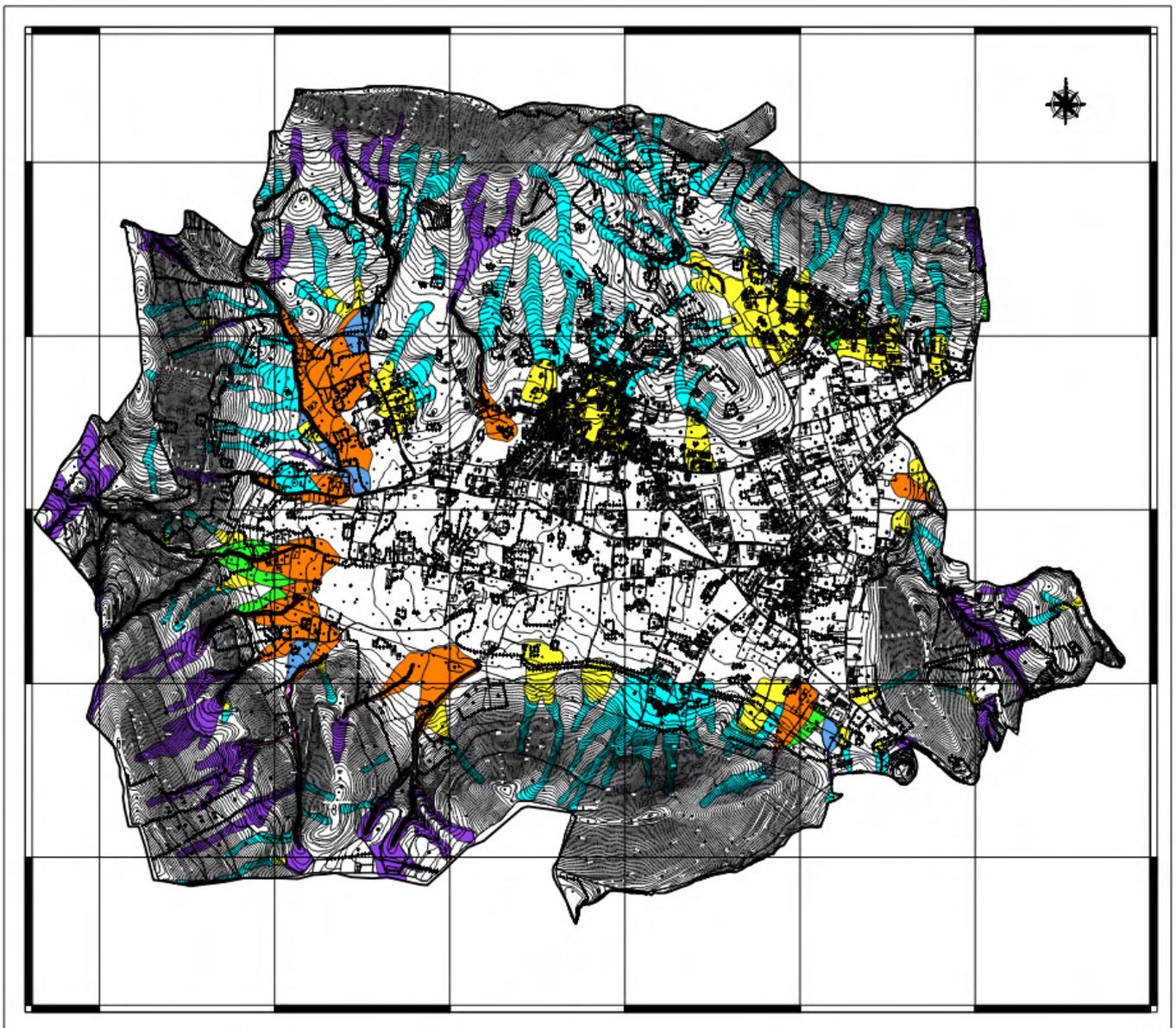


Fig. 91 – Tavola G12: Carta delle aree a maggiore pericolosità geomorfologica

Nello specifico, la maggiore pericolosità geomorfologica è stata attribuita alle aree che presentano fenomeni di dissesto in atto ed alle relative aree di influenza, quali: le scarpate e le creste in degradazione, le frane con indizi di attività, le aree con erosione idrica accelerata con annessi crolli localizzati, le deformazioni gravitative superficiali e medio-profonde che manifestano una significativa attività cinematica (quali soliflussi e creep attivi), le aree potenzialmente instabili (quando incluse tra le frane attive).

In aggiunta, sono state considerate aree morfologicamente pericolose anche tutte quelle aree che presentano un'elevata acclività, quelle con caratteristiche geotecniche scadenti (quali: conoidi alluvionali stabilizzate, detrito di versante ecc.), quelle con possibilità di ristagni idrici e di allagamenti, i versanti terrazzati in degradazione, le aree interessate da fenomeni erosivi diffusi e da ruscellamento concentrato.

## 15.12 Tavola G13 – Carta della pericolosità da frana

La metodologia adottata dall'ex Autorità di Bacino della Campania Centrale per la valutazione della *Carta della pericolosità da frana* ha previsto l'utilizzo di una serie di carte geotematiche intermedie, progressivamente incrociate, fino a giungere alla definizione di un elaborato di sintesi finale derivante da tale processo.

Il modello definito ha consentito di pervenire alla distinzione di aree in frana a diverso grado di pericolosità su basi oggettive e documentate e/o sulla base di dati che con la pericolosità risultano fortemente correlati (Fig. 92).

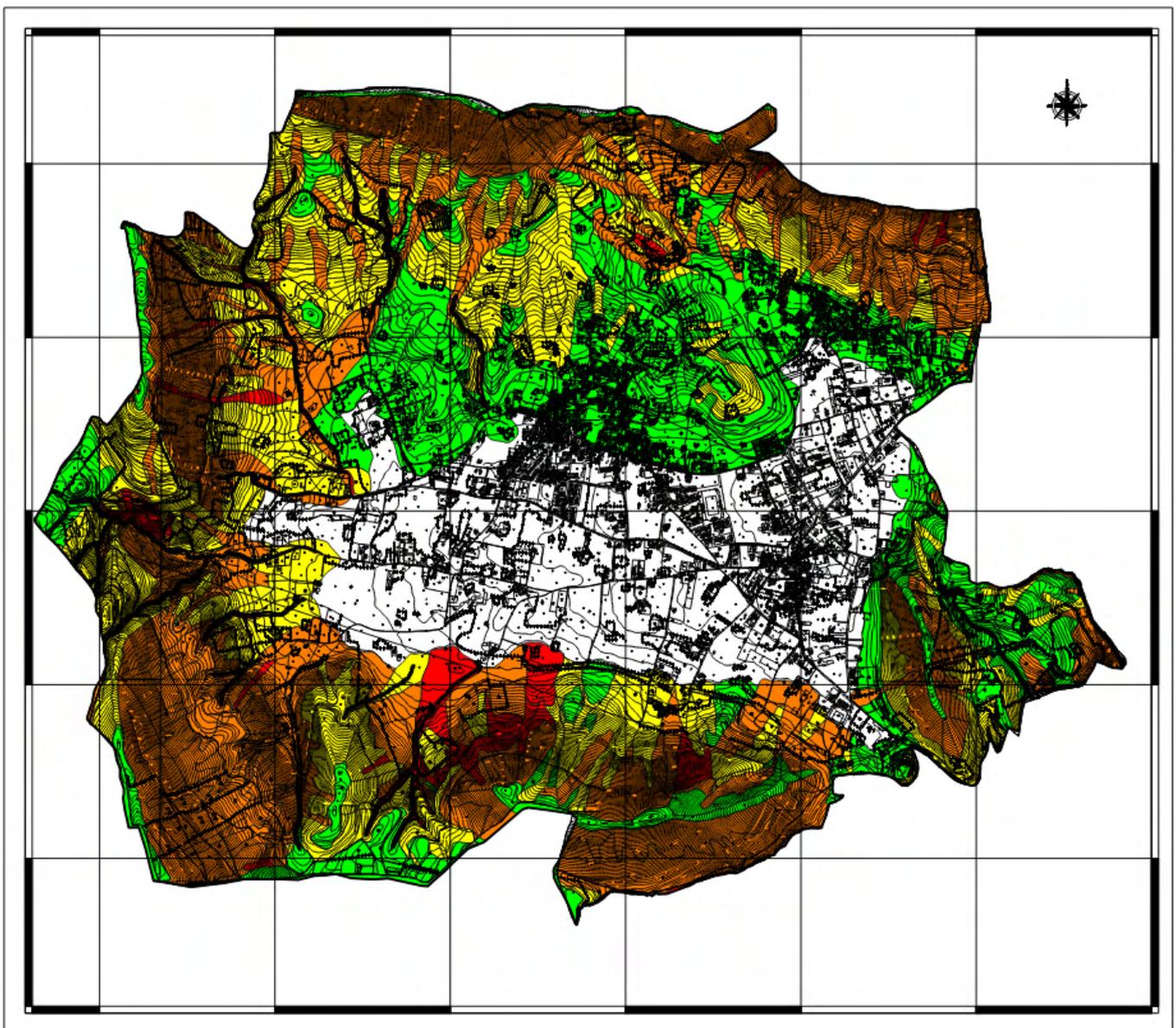


Fig. 92 – Tavola G13: Carta della pericolosità da frana

Nei territori ricadenti in provincia di Avellino la suscettibilità all'invasione è stata determinata su base geomorfologica, individuando la zona di invasione come la parte valliva di un ambito morfologico nel quale viene ricostruito uno scenario di franosità, ovvero localizzare uno o più eventi franosi per tutto il loro processo di sviluppo (innesco, transito e accumulo), prevedendo l'evoluzione futura sulla base dell'osservazione e dell'interpretazione di fenomeni già avvenuti.

L'ambito morfologico è dunque inteso come "un tratto di pendio compreso tra la zona sommitale del rilievo (ad evoluzione morfologica completa) o crinale sommitale ed il fondovalle più prossimo a valle della frana considerata, limitato dai crinali morfologici secondari che delimitano i bordi del tratto di propagazione dalla frana, dove esistono e si esauriscono tutti i fattori che hanno concorso alle fenomenologie passate, che contribuiscono alla dinamica franosa degli eventi attivi ed attuali e in cui possono ritenersi altamente probabili ulteriori fenomeni".

Nel caso delle colate rapide di fango sono state considerate le aree di monte, sede di accumuli di materiali detritico-colluviali, che possono determinare ulteriori distacchi significativi ai fini della pericolosità; tali aree sono state completate verso valle dalla posizione della frana avvenuta, dalla segnalazione della zona di accumulo della frana e dell'area di probabile invasione interpretata sulla base dei depositi di cumulo di frana, ovvero di conoide detritico-fangosa, con migliori evidenze morfologiche.

Il grado di suscettibilità (e dunque il grado di pericolosità) da invasione viene definito secondo uno schema evolutivo di flusso che può sintetizzarsi nel modo seguente: partendo dalle aree di innesco con grado di suscettibilità S4 o S3 vengono collegati progressivamente, nel percorso da monte verso valle, gli elementi geomorfologici intercettati all'interno di un determinato ambito morfologico, trasmettendo a tali forme lo stesso grado di suscettibilità per transito ed invasione.

Il risultato di questa procedura viene poi verificato e tarato in base alla stratigrafia dei depositi di fondovalle (ove riconoscibile), delimitando l'area di possibile invasione in una fascia compresa tra le aree di arrivo dei depositi di conoide detritico-alluvionale riconosciuti di età recente, storica e/o attuale ed un limite situato più a valle del precedente laddove sono presenti zone di invasione di conoidi detritico-alluvionali antiche e conoidi alluvionali recenti.

Ai depositi di composizione prevalentemente detritico-alluvionale viene assegnata la classe di suscettibilità S4 (e dunque di pericolosità P4), mentre ai depositi di composizione prevalentemente alluvionale viene assegnata la classe di suscettibilità S3 (e dunque di pericolosità P3).

Il vigente Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'ex Autorità di Bacino Campania Centrale fornisce la "Carta della Pericolosità" sviluppata attraverso i seguenti passi:

- a) redazione dei tematismi di base, ossia topografia, geomorfologia, geologia e assetto strutturale, depositi di copertura sciolti, idrogeologia, uso del suolo e frane;
- b) attribuzione di pesi a ciascuna classe rappresentata nei tematismi di base;
- c) definizione delle classi di Suscettività;
- d) redazione della Carta delle aree di possibile invasione da parte di colate rapide (o di crolli).

Dalla sovrapposizione tra la Carta della suscettività a frana e dalla Carta delle aree di possibile invasione si è ottenuta la Carta della Pericolosità ove sono stati riconosciuti quattro livelli di pericolosità, così definiti:

- **P1 - Pericolosità bassa o trascurabile:** Aree di ambito sub-pianeggiante, collinare o montuoso in cui si rilevano scarse o nulle evidenze di dissesto in atto o potenziali e scarsa o nulla dipendenza dagli effetti di fenomeni di dissesto presenti nelle aree adiacenti e nelle quali non si rilevano significativi fattori predisponenti al dissesto (acclività, spessori consistenti dei depositi sciolti delle coperture, caratteristiche strutturali del substrato roccioso, caratteristiche e contrasti di permeabilità, condizioni attuali di uso del suolo);
- **P2 - Pericolosità media:** Aree caratterizzate da scarse evidenze di dissesto potenziale e dalla scarsa presenza di fattori predisponenti al dissesto (acclività, spessori consistenti dei depositi sciolti delle coperture, caratteristiche strutturali del substrato roccioso, caratteristiche e contrasti di permeabilità, condizioni attuali di uso del suolo) o dalla prossimità di aree interessate da dissesto;
- **P3 - Pericolosità elevata:** Aree caratterizzate dalla presenza di dissesti quiescenti e/o inattivi, da limitate evidenze di fenomeni di dissesto potenziale o dalla concomitanza di fattori predisponenti al dissesto (acclività, spessori consistenti dei depositi sciolti delle coperture, caratteristiche strutturali del substrato roccioso, caratteristiche e contrasti di permeabilità, condizioni attuali di uso del suolo) o dalla prossimità di aree interessate da dissesti attivi o potenzialmente riattivabili;
- **P4 - Pericolosità molto elevata:** Aree caratterizzate dalla presenza di dissesti attivi, da fenomeni di dissesto attualmente quiescenti, ma con elevata probabilità di potenziali o dalla concomitanza di più fattori con caratteristiche fortemente predisponenti al dissesto (acclività, spessori consistenti dei depositi sciolti delle coperture, caratteristiche strutturali del substrato roccioso, caratteristiche e contrasti di permeabilità, condizioni attuali di uso del suolo). Comprendono, inoltre, settori di territorio prossimi ad aree interessate da dissesti attivi o potenzialmente riattivabili, aree di possibile transito o accumulo di flussi detritico - fangosi provenienti da dissesti innescatisi a monte e incanalati lungo direttrici delimitate dalla morfologia, oltre ad aree di possibile transito e/o recapito di materiali provenienti da dissesti di diversa tipologia, innescatisi a monte e anche non convogliati lungo direttrici delimitate dalla morfologia.

*Le cartografie della Pericolosità da Frana costituiscono il riferimento per la valutazione del Rischio atteso e quindi l'ammissibilità ai sensi delle Norme del PSAI dei nuovi interventi edilizi-infrastutturale/o di ristrutturazione urbanistica, della pianificazione territoriale ed urbanistica e di settore di ogni livello e relative varianti. Per la disciplina specifica delle aree a pericolosità da frana si rimanda alle "Norme di Attuazione dell'Autorità di Bacino regionale Campania Centrale".*

### 15.13 Tavola G14 – Carta del rischio frana

La Carta del Rischio è stata redatta secondo quanto previsto nell'Atto d'indirizzo e coordinamento (DPCM 29/9/98) che prevede quattro livelli di rischio (R1, R2, R3 ed R4) per le quali occorre adottare idonee misure di salvaguardia nonché sviluppare idonei programmi per la mitigazione del rischio al fine di stabilire livelli di rischio accettabili (Fig. 93).

Il valore del rischio sul territorio di competenza dell'ex AdB della Campania Centrale è stato desunto da una combinazione matriciale della pericolosità e del danno.

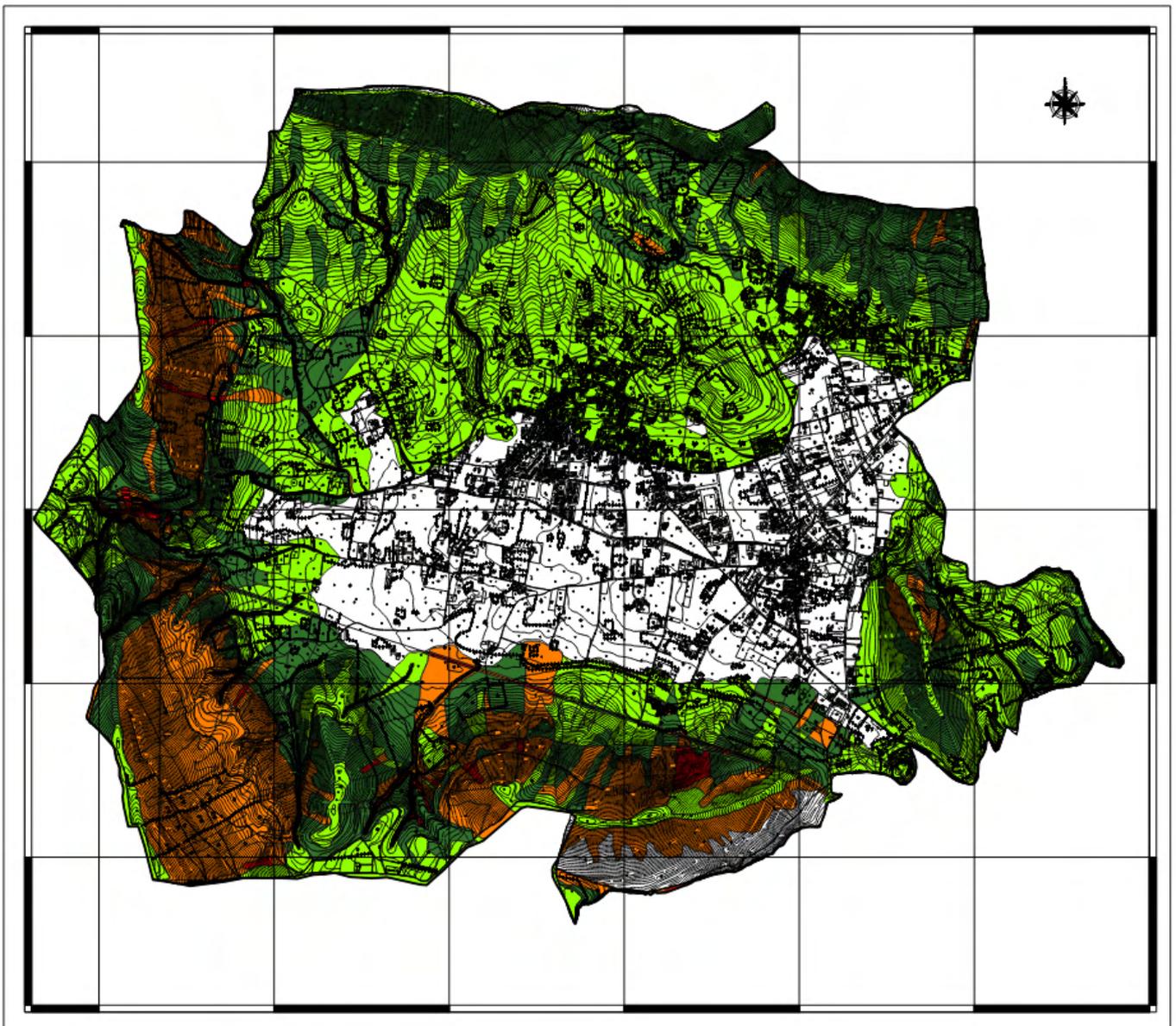


Fig. 93 – Tavola G14: Carta del rischio frana

Il rischio (**R**) è definito come l'entità del danno atteso in una data area e in un certo intervallo di tempo in seguito al verificarsi di un particolare evento calamitoso. Per un dato elemento a rischio l'entità dei danni attesi è correlata a:

- la pericolosità (**P**) ovvero la probabilità di occorrenza dell'evento calamitoso entro un certo intervallo di tempo ed in una zona tale da influenzare l'elemento a rischio;
- la vulnerabilità (**V**) ovvero il grado di perdita prodotto su un certo elemento o gruppo di elementi esposti a rischio risultante dal verificarsi dell'evento calamitoso temuto;
- il valore esposto (**E**) ovvero il valore (che può essere espresso in termini monetari o di numero o quantità di unità esposte) della popolazione, delle proprietà e delle attività economiche, inclusi i servizi pubblici, a rischio in una data area.

Il danno (**D**) è definito come il grado previsto di perdita, di persone e/o beni, a seguito di un particolare evento calamitoso, funzione sia del valore esposto che della vulnerabilità.

Di conseguenza:

$$R = P \times E \times V$$

ovvero

$$R = P \times D$$

dove

$$D = E \times V$$

Dalle relazioni riportate discende che il rischio da associare ad un determinato evento calamitoso dipende dalla intensità e dalla probabilità di accadimento dell'evento, dal valore esposto degli elementi che con l'evento interagiscono e dalla loro vulnerabilità.

La valutazione del rischio comporta non poche difficoltà per la complessità e l'articolazione delle azioni da svolgere ai fini di una adeguata quantificazione dei fattori che lo definiscono. E', infatti, assai complicato giungere ad una parametrizzazione, in termini probabilistici, della pericolosità e della vulnerabilità e, in termini monetari, del valore esposto.

Sono individuate le seguenti classi di rischio in relazione ai fenomeni da dissesto di versante:

- **R1** – moderato, per il quale sono possibili danni sociali ed economici marginali;
- **R2** – medio, per il quale sono possibili danni minori agli edifici e alle infrastrutture che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e lo svolgimento delle attività socio- economiche;
- **R3** – elevato, per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi e l'interruzione delle attività socio - economiche, danni al patrimonio culturale;
- **R4** – molto elevato, per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici e alle infrastrutture, danni al patrimonio culturale, la distruzione di attività socio - economiche.

Si intende per "**Rischio atteso**" il nuovo livello di rischio prodotto dalla variazione, in una data area, di uno o più fattori (pericolosità P, valore esposto E, vulnerabilità V) che determinano il grado di rischio esistente.

Si intende per "**Rischio accettabile**" il livello di rischio conseguente alla nuova realizzazione di opere e/o attività che non superi il valore di **R2**, secondo la definizione di cui al D.P.C.M. 29 settembre 1998, e tale che i costi che gravano sulla collettività per lo stato di rischio che si andrà a determinare siano minori dei benefici socioeconomici conseguiti dall'opera o dall'attività.

*Le cartografie del Rischio da frana sono il principale riferimento per valutare la compatibilità degli interventi di conservazione/trasformazione dell'esistente (patrimonio edilizio, attrezzature pubbliche o di interesse pubblico, infrastrutture e servizi a rete, etc..) che non comportano incrementi di carichi insediativi.*

*Per la disciplina specifica delle aree a rischio da frana si rimanda alle "Norme di Attuazione dell'Autorità di Bacino regionale della Campania Centrale".*

## 15.14 Tavole G15 – Carta della pericolosità idraulica

Per la valutazione della compatibilità con l’assetto delineato dal PSAI per gli aspetti idraulici delle previsioni degli strumenti di pianificazione urbanistica e/o di nuove opere occorre far riferimento alle Carte di Pericolosità idraulica (Fig. 94).

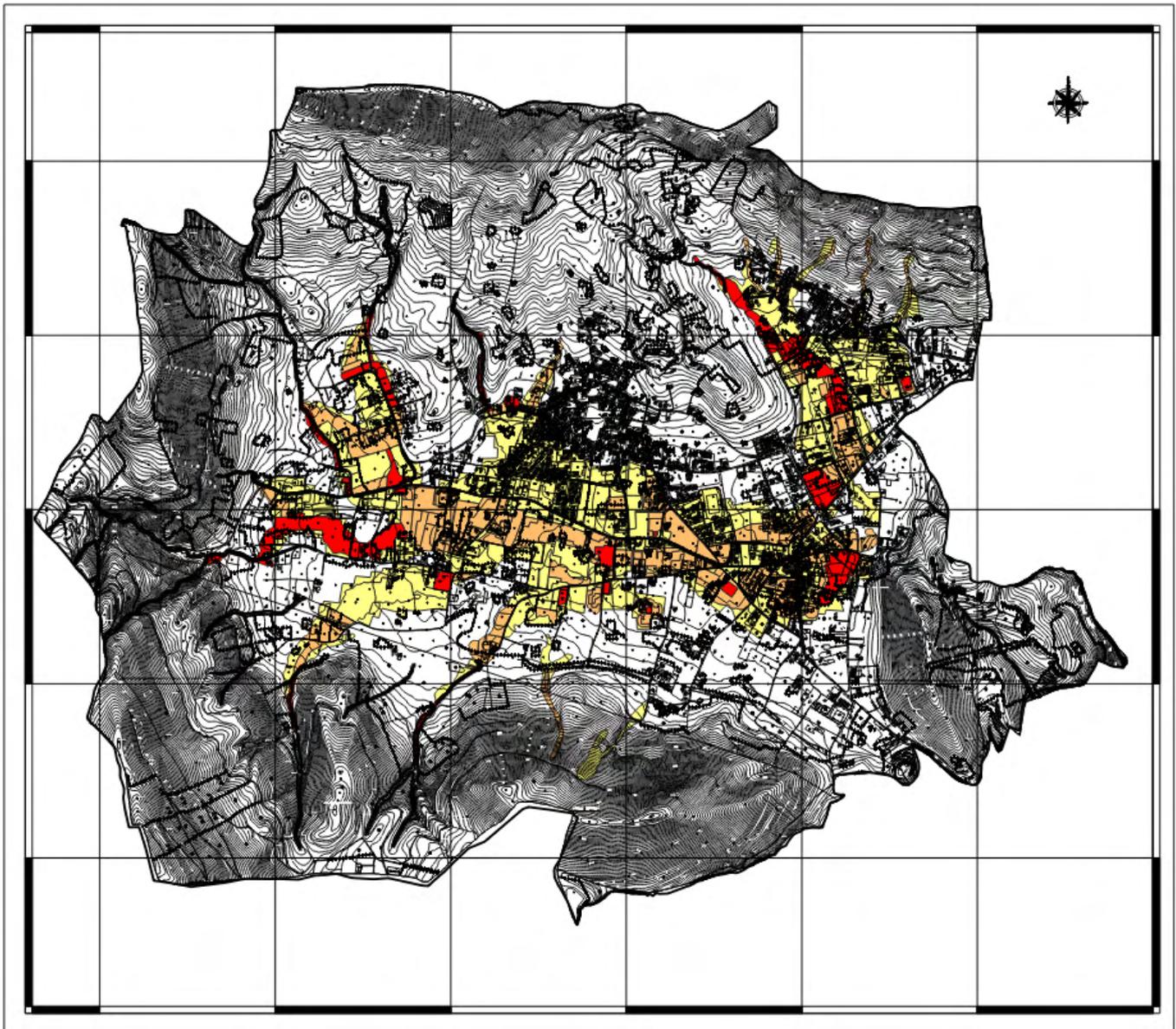


Fig. 94 – Tavola G15: Carta della pericolosità idraulica

Il Comune di Forino ha chiesto all’Autorità Distrettuale dell’Appennino Meridionale la ripermimetrazione delle mappe della pericolosità e del rischio idraulico contenute nel PSAI dell’ex AdB Regionale Campania Centrale per l’intero territorio comunale.

Tale proposta consegue sia ad un rilevamento topografico di maggior dettaglio sia ad un approccio modellistico appropriato per la simulazione dei fenomeni di allagamento (*Studio idraulico di approfondimento al Piano Stralcio di Bacino per l’Assetto Idrogeologico finalizzato alla redazione di una proposta di rivisitazione del Piano stesso - Ing. Giuseppe Benevento, 2017*).

Sulla base delle risultanze degli studi proposti e della istruttoria effettuata dall'Autorità Distrettuale dell'Appennino Meridionale, la variante è stata adottata come progetto con Decreto del Segretario Generale dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale n. 691 del 03/12/2018, ai sensi dell'art. 12 comma 7 del D.M. 294 del 25/10/2016, ovvero con presa d'atto della Conferenza Istituzionale Permanente nella seduta del 27 dicembre 2018 con Delibera n.5.

La variante di aggiornamento del PSAI è stata definitivamente approvata, ai sensi dell'art. 68 comma 4 bis del D.Lgs. 152/2006, con Decreto del Segretario Generale n.14 del 31.01.2022.

### 15.15 Tavole G16 – Carta del rischio idraulico

La carta del rischio idraulico scaturisce dalla matrice del rischio che tiene conto il valore esposto e la vulnerabilità idraulica a carattere topografico (Fig. 95).

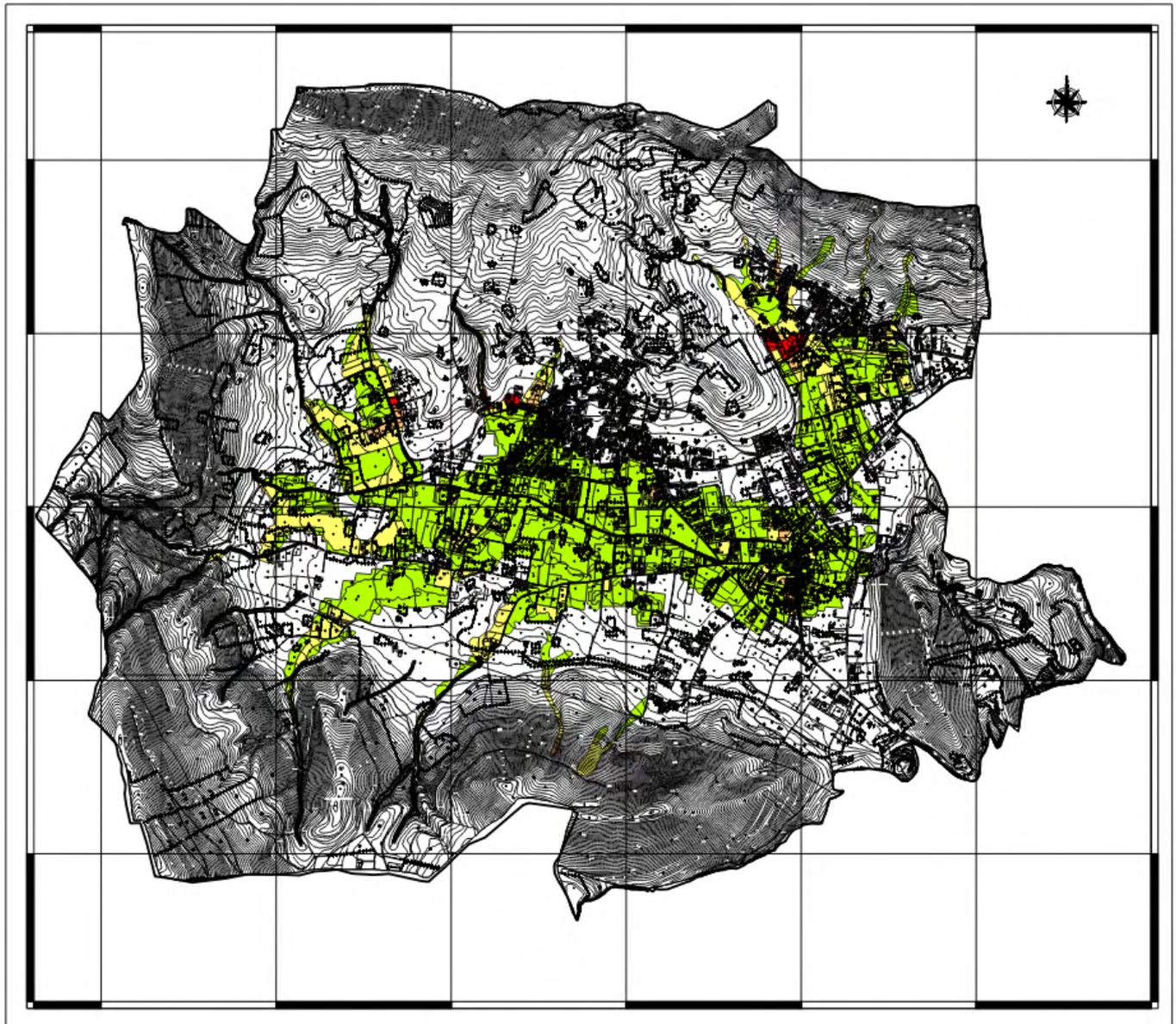


Fig. 95 – Tavola G16: Carta del rischio idraulico

La carta del rischio idraulico, articolata nei 4 livelli di rischio, costituisce quindi il riferimento per la valutazione della fattibilità e compatibilità degli interventi sul patrimonio edilizio ed infrastrutturale esistente secondo le prescrizioni delle Norme di Attuazione del Piano e relativi Allegati Tecnici.

Le situazioni potenzialmente a maggior rischio idraulico per l'incolumità delle persone e degli insediamenti antropici, sono rappresentate nella "Carta degli scenari di Rischio R3 ed R4", relative alle principali infrastrutture antropiche.

## 15.16 Tavola G17 – Carta della stabilità integrata dei versanti

In generale i fenomeni di dissesto idrogeologico presenti nel territorio comunale di Forino sono dovuti principalmente alla natura geologica dei terreni affioranti, alle elevate pendenze dei versanti, alle condizioni climatiche ed all'uso del suolo.

Le tipologie di frana sono risultate essere principalmente del tipo *complesso* e *soil creep*. Le aree che presentano fenomeni di dissesto idrogeologico sono localizzate in corrispondenza dei versanti più acclivi. Gli eventi di sollevamento neotettonici del plio-quadernario hanno creato nell'Appennino meridionale, e dunque in Campania, le premesse per l'instaurazione di forti squilibri gravitazionali con conseguente innesco di movimenti di versante di varia entità.

Allo stesso modo le variazioni climatiche quaternarie hanno determinato condizioni favorevoli ai processi di degradazione fisico-meccanica delle rocce esposte e, dunque, agevolato lo sviluppo di processi di erosione-trasporto-accumulo. In definitiva, le pendenze medie elevate, la sfavorevole combinazione di fattori stratigrafico-strutturali ed idrologico-idrogeologici sono alla base della fragilità intrinseca del territorio.

Come già accennato nei paragrafi precedenti, il territorio comunale di Forino presenta una certa vulnerabilità, dovuta al combinarsi di fattori litologici, morfologici e idrologici, che si manifesta essenzialmente sui versanti, con episodi più rari lungo le incisioni delle valli.

L'elaborazione di una carta delle propensioni al dissesto (o carta della stabilità) può essere fatta seguendo una varietà molto ampia di metodiche, proposte da diversi autori: Lucini (1969), Bosi (1978), Centamore (1981), Dramis ed altri (1979, etc.).

La metodologia utilizzata per la realizzazione della **Carta della stabilità dei versanti** del territorio comunale di **Forino** è quella proposta da Amadesi E. et alii (1977), rivista ed in parte modificata da Amadesi E. & Vinello (1982), semplificata ed in parte adattata dopo lo studio preliminare di fotointerpretazione, la ricerca bibliografica, l'analisi dei dati disponibili ed il rilevamento geologico superficiale di campagna. Alla redazione di questo elaborato si è arrivati attraverso lo studio di tutti quei fattori che possono influire direttamente o indirettamente sulla stabilità di un pendio, scelti in base alla loro importanza e al grado di rilevabilità sul territorio. Nel caso specifico i fattori presi in considerazione sono:

- la litologia;
- la pendenza dei versanti;
- i caratteri geomorfologici (grado, tipo di erosione ed esposizione dei versanti);
- la giacitura degli strati;
- l'uso del suolo.

Lo studio analitico di tutti questi fattori e parametri ha comportato la compilazione di carte tematiche, incluse nel presente studio geologico, che rappresentano fasi intermedie del lavoro (*Carta geolitologica, Carta clivometrica, Carta degli elementi strutturali e di giacitura degli strati, Carta inventario dei fenomeni franosi, Carta uso del suolo, Carta geomorfologica e strutturale, etc.*).

Nell'ambito di ciascun fattore sono stati attribuiti diversi pesi, costituiti da numeri interi, deducendoli dalla bibliografia o in base all'esperienza personale acquisita mediante le osservazioni di campagna. Tali pesi assumono valori crescenti con l'aumentare dell'influenza del fattore sulla stabilità.

L'interazione di tutti questi fattori ha condotto alla stabilità o instabilità potenziale dei versanti di una determinata zona. Ciò permette, in altri termini, di definire la propensione alla stabilità o all'instabilità degli stessi. Teoricamente si giunge alla Carta finale della stabilità attraverso l'incrocio o sovrapposizioni delle Carte Tematiche precedentemente descritte. In definitiva il lavoro è stato eseguito attraverso varie fasi successive, mediante l'applicazione di tecnologie GIS, che di seguito vengono descritte.

#### PRIMA FASE: correlazione tra litologia, inclinazione dei versanti e giacitura degli strati.

Questa prima fase ha rappresentato l'incrocio di quei fattori morfologici e geologici che possono essere definiti invariabili, in quanto non si modificano se non in tempi lunghissimi o per cataclismi imprevedibili. Si sono, in effetti, combinati i pesi relativi alla litologia, alla pendenza dei versanti e alla giacitura degli strati, permettendo la definizione di una serie di classi teoriche che passano da condizioni di instabilità massima a condizioni di stabilità.

Questa operazione ha permesso di ottenere un primo risultato parziale, la *Carta della stabilità potenziale*, che dato la possibilità di delimitare sul territorio comunale ogni area omogenea dal punto di vista della litologia, delle pendenze e della giacitura degli strati.

Per ogni area omogenea ottenuta è stata calcolata una combinazione mediante la somma algebrica dei pesi attribuiti ad ogni singolo parametro delle Carte tematiche sopra citate.

In pratica con questa operazione, ad ogni cella in cui delle tante in cui è stato suddiviso in territorio comunale di Ceraso viene attribuito il valore derivato dalla somma algebrica dei pesi contenuti nella stessa cella in ciascuno dei tre elaborati. Il valore, o peso, risultante può variare da un minimo di **0** ad un massimo di **23**.

#### SECONDA FASE: correlazione tra la carta della stabilità potenziale e l'utilizzo reale del suolo.

Nella seconda fase del lavoro si è fatta la correlazione tra la carta della stabilità potenziale ottenuta nella prima fase e la carta dell'utilizzazione reale del suolo (o impedenza) pesata, redatta dall'agronomo, in cui sono stati riportati i parametri riguardanti la copertura vegetazionale-colturale e l'attività umana, opportunamente pesati, in base al grado di impedimento che ciascun fattore può opporre all'erosione e all'instabilità.

In questo caso il numero dei valori o pesi possibili è **28** (da - 2 a + 25). I nuovi pesi così individuati hanno corretto il grado di stabilità ottenuto nella prima fase, ottenendo in questo modo una carta della stabilità quasi definitiva, che rappresenta il risultato dell'incrocio dei primi tre parametri (litologia, pendenze naturali e le strutture geologiche) corretto dai dati relativi alla copertura vegetale e alle opere positive o negative dell'uomo.

TERZA FASE: confronto tra la carta della stabilità e la carta geomorfologica

La terza ed ultima fase del procedimento è consistito nel prendere in considerazione gli elementi geomorfologici quali le forme del pendio (spartiacque maggiori, concavità e convessità sui versanti, pendii irregolari e scarpate), le forme di erosione idrica (ruscellamento superficiale diffuso, l'erosione per rigagnoli e per fossi) e le forme di erosione dei movimenti di masse (frane recenti, frane antiche, smottamenti, creep, erosione laterale di sponda), unitamente ai dati sismici della zona e ai dati climatici interessanti i versanti del luogo.

Al dato morfologico, in generale, non viene assegnato alcun valore o peso, ma l'indicazione di una sua eventuale presenza starà ad indicare che tale zona potrà avere un'evoluzione in senso peggiorativo, per quanto riguarda la stabilità, in un futuro che sarà più o meno prossimo a seconda dell'intensità con cui si manifesta il fenomeno.

Di seguito si riporta lo schema riassuntivo del procedimento che, utilizzando la Carta dei fattori di instabilità, ha permesso la realizzazione della Carta della stabilità dei versanti (Fig. 96).

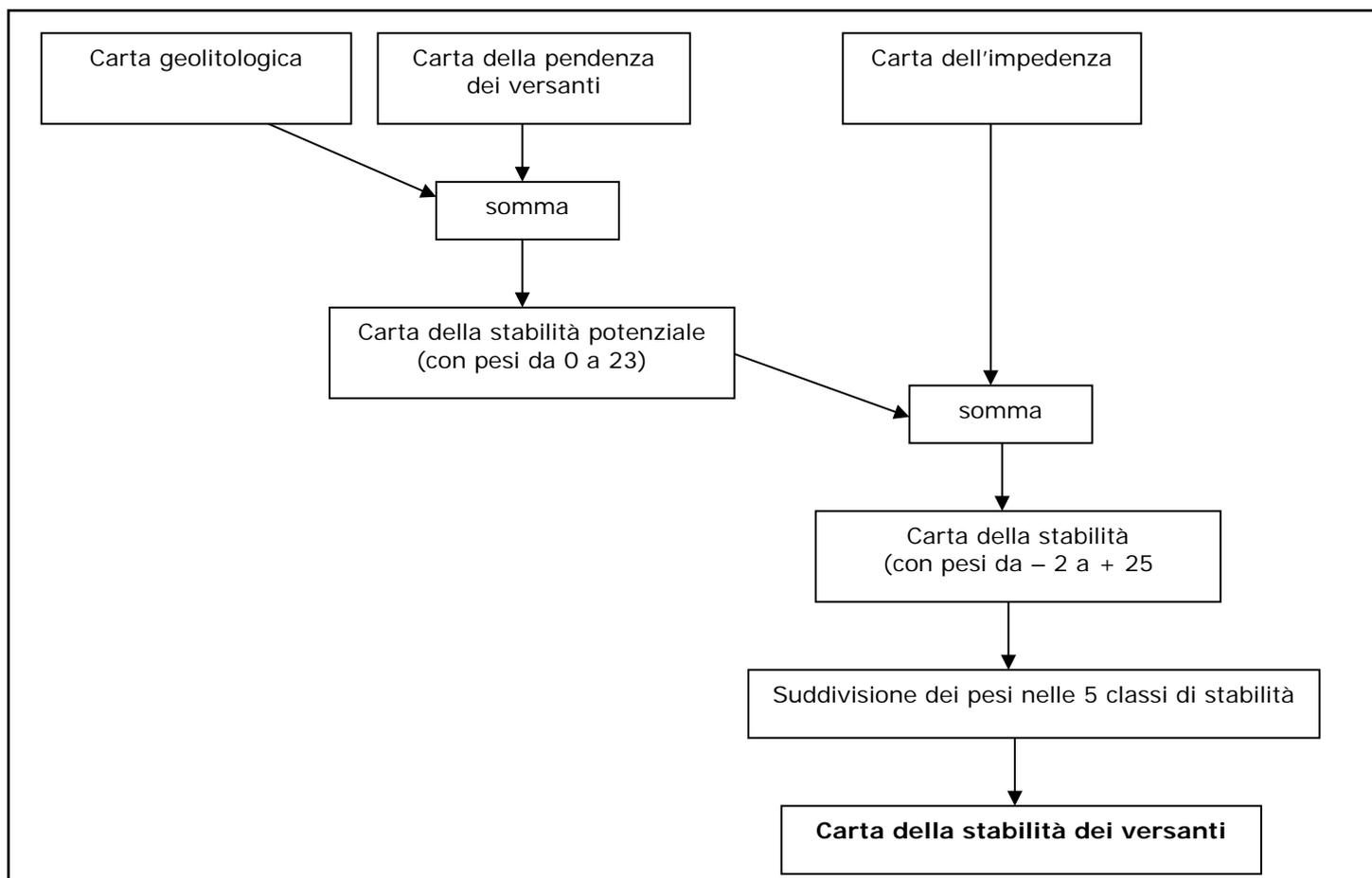


Fig. 96 – Schema riassuntivo del procedimento utilizzato per la realizzazione della Carta della Stabilità

La metodologia sopra esposta ha permesso la costruzione della **Carta della stabilità dei versanti** che suddivide le porzioni del territorio comunale di **Forino** in diverse aree con diverso grado di stabilità (Fig. 97).

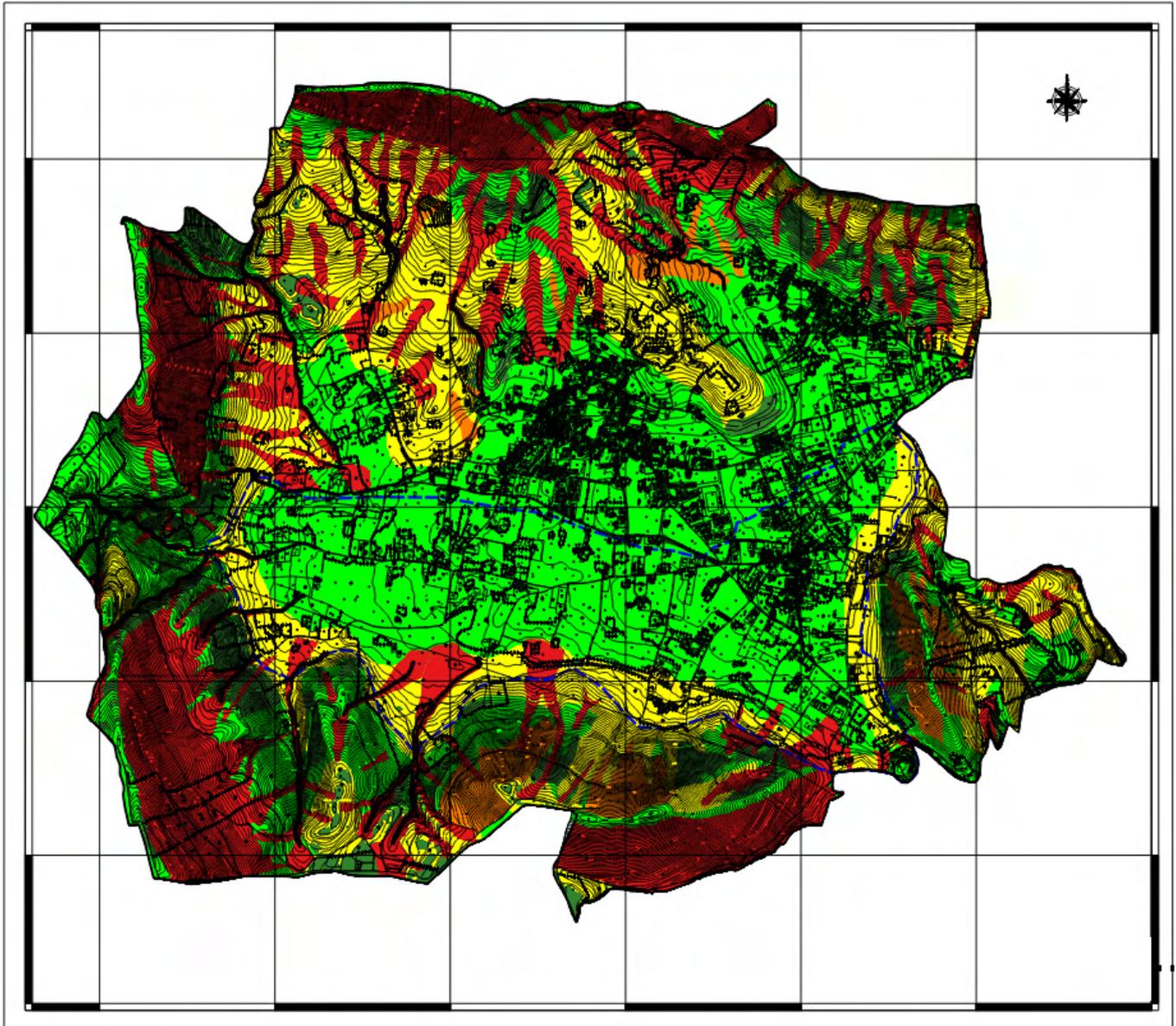


Fig. 97 – Tavola G17: Carta della stabilità integrata dei versanti

L'elaborato ottenuto, valutando i fattori su accennati e le loro interpretazioni reciproche, offre una visione d'insieme della situazione geostatica del territorio studiato secondo i seguenti gradi di stabilità:

- **Instabilità massima:** *caratterizza porzioni di territorio con evidenti condizioni di pericolosità determinate dalla presenza di fenomeni franosi attivi e nelle quali gli elementi di pericolosità geomorfologica sono tali da impedirne l'utilizzo ai fini urbanistici. Nelle zone già edificate è necessario intervenire con opere miranti alla bonifica idrogeologica ed al riassetto territoriale in termini di sicurezza; in tali zone sono consigliabili solo quelle trasformazioni che non aumentino il carico antropico.*

- **Instabilità forte:** *caratterizza porzioni di territorio con evidenti condizioni di pericolosità determinate dalla presenza di fenomeni franosi quiescenti, con indizi di instabilità connessi alla giacitura, all'acclività, alla litologia, alla presenza di acque superficiali. Tali marcati fattori di esposizione richiedono interventi di protezione per l'eliminazione o la mitigazione del rischio delle zone già edificate. È da precludere qualsiasi intervento ad eccezione di quelle opere che risultino essenziali ed indispensabili per la pubblica utilità, dopo che le eventuali aree interessate siano state preventivamente bonificate e messe in sicurezza. Detti interventi sono consigliabili, comunque, solo dietro uno studio geologico e geotecnico approfondito della zona e di un intorno significativo.*
- **Instabilità media:** *caratterizza porzioni di territorio in cui sono presenti fenomeni franosi inattivi stabilizzati naturalmente; aree con elementi geomorfologici litologici e giaciturali (assetto giaciturale sfavorevole in versanti a debole pendenza, versanti a forte pendenza associati a strati a franapoggio meno inclinati del pendio, strati a traverspoggio con tendenza al franapoggio) dalla cui valutazione risulta una media propensione al dissesto. In queste aree i processi gravitativi agiscono maggiormente sui materiali alterati e/o disgregati prodotti a spese del substrato e tendono alla rimozione di tali materiali, specie se essi si trovano su una superficie sensibilmente inclinata. Le condizioni di attuazione sono indicate in funzione delle specifiche indagini da eseguirsi a livello edificatorio al fine di non modificare negativamente le condizioni ed i processi geomorfologici presenti nell'area.*
- **Instabilità limitata:** *caratterizza porzioni di territorio prive di evidenti segni di instabilità per le quali, a causa della loro acclività o del tipo di terreno, occorre attuare accorgimenti tecnici al fine di preservare la stabilità della singola area e della zona circostante. Nei valloni prossimi ai centri abitati è comunque necessario intervenire con un'opportuna sistemazione idrogeologica degli stessi.*
- **Situazione stabile:** *caratterizza porzioni di territorio con assenza di condizioni di pericolosità per la giacitura sub-orizzontale delle masse rocciose conforme alla genesi e allo stile strutturale tabulare. La costituzione litologica è data prevalentemente da depositi alluvionali; la morfologia è dolce con pendenza media inferiore al 10%. Sono ritenute stabili anche le formazioni in facies di flysch con assenza di piani di fratture tali da poter generare scivolamenti, inclinazione degli strati inferiore all'angolo di attrito dei materiali, giacitura prevalentemente a reggipoggio, strette fasce allungate lungo il crinale (pendenza bassa). In queste aree sono assenti i fattori di esposizione al rischio ai fini delle scelte urbanistiche. Gli interventi sono possibili sempre nel rispetto della normativa vigente in materia d'uso e difesa del suolo.*
- **Area di attenzione per possibili fenomeni di Sinkhole:** *I progetti di interventi ricadenti in aree nelle quali è certa o probabile la presenza di cavità sotterranee, siano esse di origine naturale o antropica, dovranno essere corredati da indagini idrauliche, geologiche e geotecniche idonee a valutare la compatibilità degli interventi stessi con il rischio connesso a fenomeni di sprofondamento.*

## 15.17 Tavola G18 – Carta della categoria di sottosuolo e dell'amplificazione stratigrafica

Per la redazione della Carta di microzonazione sismica rispetto alla categoria di sottosuolo sono stati utilizzati i valori delle velocità equivalenti di propagazione delle onde di taglio ( $V_{s,eq}$ ), o in alternativa i valori delle velocità delle onde di taglio  $V_{s,30}$  per tutte quelle zone dove non si è riscontrato un substrato caratterizzato da valori di  $V_s$  non inferiore a 800 m/s entro i 30 m di profondità, ricavati dalle indagini sismiche di recente realizzazione e di quelle disponibili per il territorio comunale (Fig. 98).

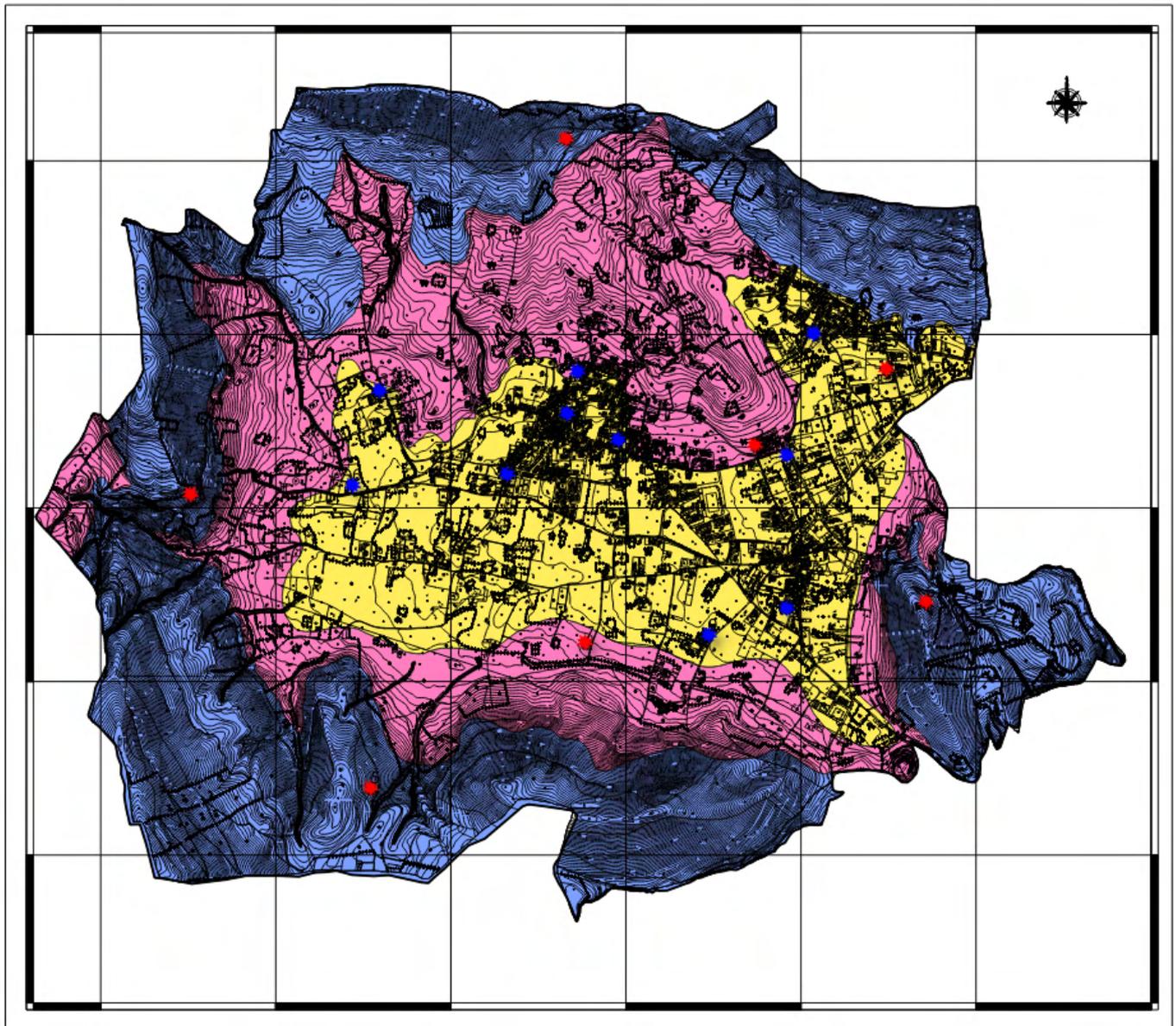


Fig. 98 – Tavola G18: Carta della categoria di sottosuolo e dell'amplificazione stratigrafica

È fondamentale tenere presente che nelle finalità della normativa questa zonazione del territorio è a carattere generale, cioè mirata alla pianificazione del territorio e, pertanto, non può rappresentare la puntuale identificazione della categoria di terreno di un sito specifico.

L'analisi delle indagini sismiche ha permesso, quindi, di determinare la distribuzione delle velocità delle onde di taglio  $V_s$ , calcolate su spessori standard di 30 metri di sedimenti.

Sotto il profilo stratigrafico il territorio comunale in esame è caratterizzato per la maggior parte da terreni calcarei e da depositi di copertura costituiti da terreni piroclastici, a prevalente componente limoso-argillosa e sabbiosa, e da coltri detritiche con scheletro detritico eterometrico da minuto a grossolano che colmano le aree pianeggianti della conca endoreica e le concavità morfologiche presenti lungo i versanti. E' presente, in misura minore, un'altra formazione in facies di flysch rappresentata dalla Formazione di Corleto Perticara a prevalente componente calcareo-marnosa e argilloso-siltosa.

Data la natura e la distribuzione dei sedimenti, non è stato possibile classificare l'intero territorio comunale omogeneamente in un'unica categoria di suolo. Nel comprensorio, infatti, si registra una variabilità dei valori di  $V_{s30}$ . Tuttavia è possibile suddividere il distretto comunale in tre zone, in relazione alla velocità delle onde di taglio.

- Per circa il **40%** rientra nella categoria di sottosuolo **A** (*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m*). Tale zona coincide con la parte di territorio il cui sottosuolo è costituito dai calcari, calcari dolomitici e dolomie dei rilievi montuosi.
- Per circa il **34%** rientra nella categoria di sottosuolo **B** (*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s*). Tale zona coincide con la parte di territorio il cui sottosuolo è costituito da depositi di versante eluvio-colluviali, detriti di versante, i depositi piroclastici in giacitura primaria e i terreni in facies di flysch.
- Il restante **25%** rientra nella categoria di sottosuolo **C** (*Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s*). Tale porzione di territorio coincide principalmente con la Piana di Forino dove sono presenti i depositi di conca endoreica costituiti principalmente da limi e sabbie.

Quindi il territorio comunale è stato suddiviso in aree omogenee dal punto di vista delle “Vs”, media ponderale della velocità delle onde sismiche per i primi 30 metri e, successivamente, sono stati applicati i fattori di incremento sismico nelle varie Microzone o Sottozone individuate, all’accelerazione sismica relativa allo spettro elastico di ancoraggio come previsto dalle recenti normative già più volte richiamate.

Si ribadisce che tali valori di incremento si riferiscono **a suoli di fondazione corrispondenti alla Categoria A**. Ovviamente laddove affiorassero formazioni di *Categoria A* si avrebbe fattore di incremento pari a 1 rispetto a quanto previsto dalla Classificazione.

Le differenze tra le varie Microzone individuate devono quindi essere intese come differenze, oltre che nella composizione spettrale, anche dell’accelerazione massima caratterizzante le varie Categorie di sottosuolo individuate, rispetto a quella su suolo rigido (ovvero di Categoria A= Formazioni litoidi o Rigide:  $V_s \geq 800\text{m/s}$ ), assegnata al Comune di Forino con la nuova classificazione sismica regionale (Zona 2).

Questa suddivisione in Microzone (o Sottozone) tiene appunto conto delle differenti caratteristiche geolitologiche, geosismiche e geotecniche caratterizzanti in media gli affioramenti e le stratigrafie arealmente significative esistenti nel territorio comunale.

I valori di incremento assegnati alle varie *Microzone* rappresentano soltanto i fattori di incremento del livello massimo raggiunto dallo spettro elastico relativo alle varie Categorie di sottosuolo rispetto a quello riferito alla *Categoria di sottosuolo A*.

A tal proposito è utile precisare che questo elaborato ovviamente non definisce la specifica forma spettrale che caratterizza i vari siti (cosa necessaria in sede di valutazione della Risposta Sismica di Sito), ma vuole solo dare una valutazione generale del livello massimo dell’amplificazione dell’evento sismico che si avrà nelle varie sottozone individuate rispetto a quello che si avrà nelle sottozone ove affiori il basamento o in ogni caso affiori un mezzo rigido.

*Si raccomanda, pertanto, che nella fase di predisposizione di progetti edilizi, venga effettuata la determinazione attenta delle caratteristiche del terreno secondo le procedure di valutazione della risposta sismica di sito e sulla base di indagini che permettano una corretta valutazione del modello geolitologico e sismico del sottosuolo dell’area specifica interessata dalle opere e di quella immediatamente ad essa circostante.*

### 15.18 Tavola G19 – Carta della categoria topografica e amplificazione topografica

In questo elaborato sono evidenziate le aree del territorio comunale a maggiore pericolosità sismica locale dovuta a possibili effetti di amplificazione topografica (Fig. 99).

Questo elaborato distingue le aree caratterizzate:

- superfici pianeggianti, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$  (Categoria topografica T1 - Valore massimo del coefficiente di amplificazione stratigrafica  $ST = 1,00$ );
- pendii con inclinazione media  $i > 15^\circ$  (Categoria topografica T2 - Valore massimo del coefficiente di amplificazione stratigrafica  $ST = 1,20$ ).

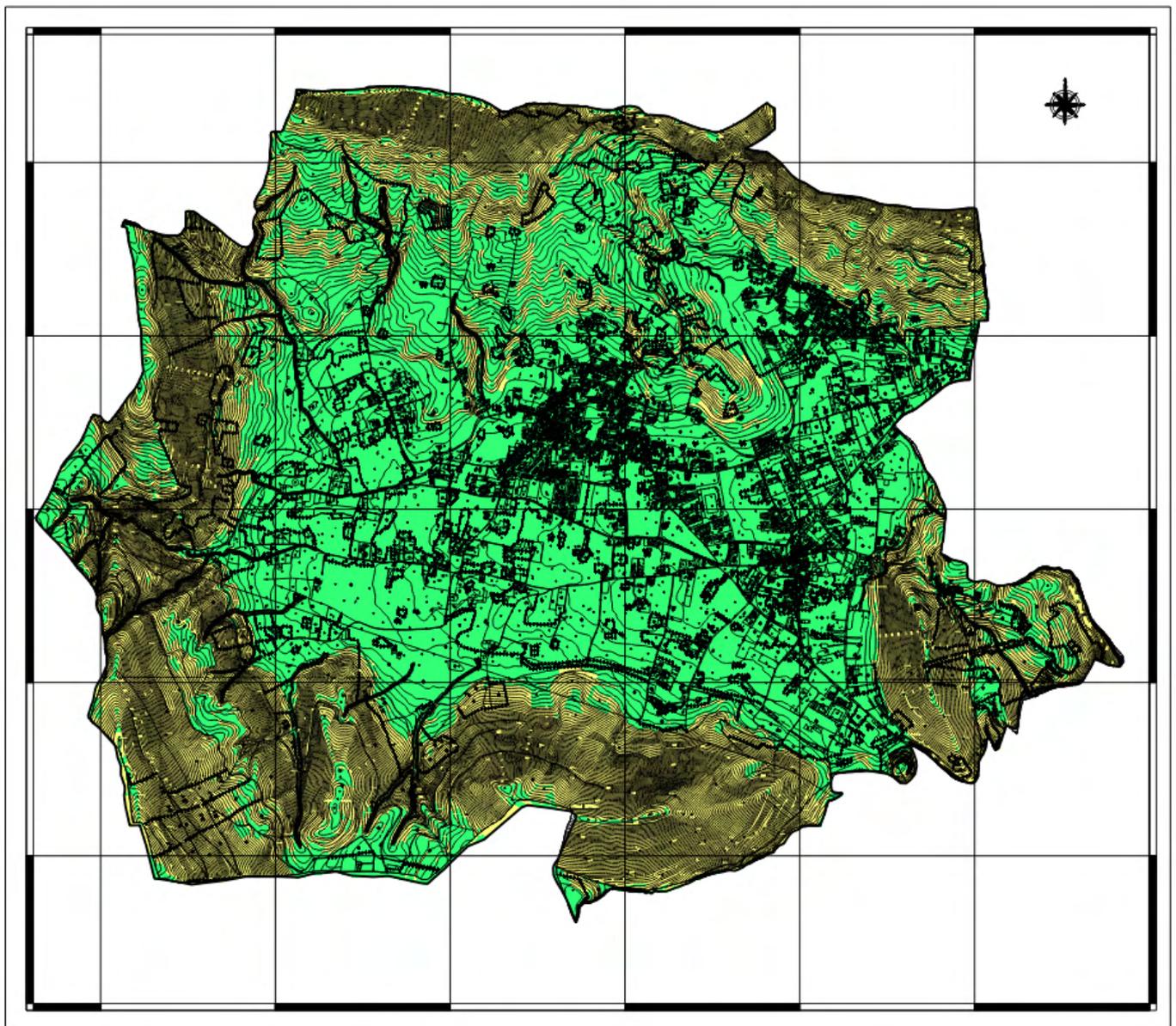


Fig. 99 – Tavola G19: Carta della categoria topografica e di amplificazione topografica

## 15.19 Tavola G20 – Carta delle aree a maggiore pericolosità sismica locale

La L.R. 9/83 prevede la "redazione di una carta della zonazione del territorio che ha per scopo la definizione di aree omogenee per quanto riguarda il comportamento in prospettiva sismica, specificando la natura del rischio".

Al fine omogeneizzare il citato dispositivo regionale con le più recenti normative nazionali in materia, è stato redatto un elaborato in cui sono evidenziate le aree del territorio comunale a maggiore pericolosità sismica locale dovuta a possibili effetti di amplificazione stratigrafica e/o topografica (Fig. 100).

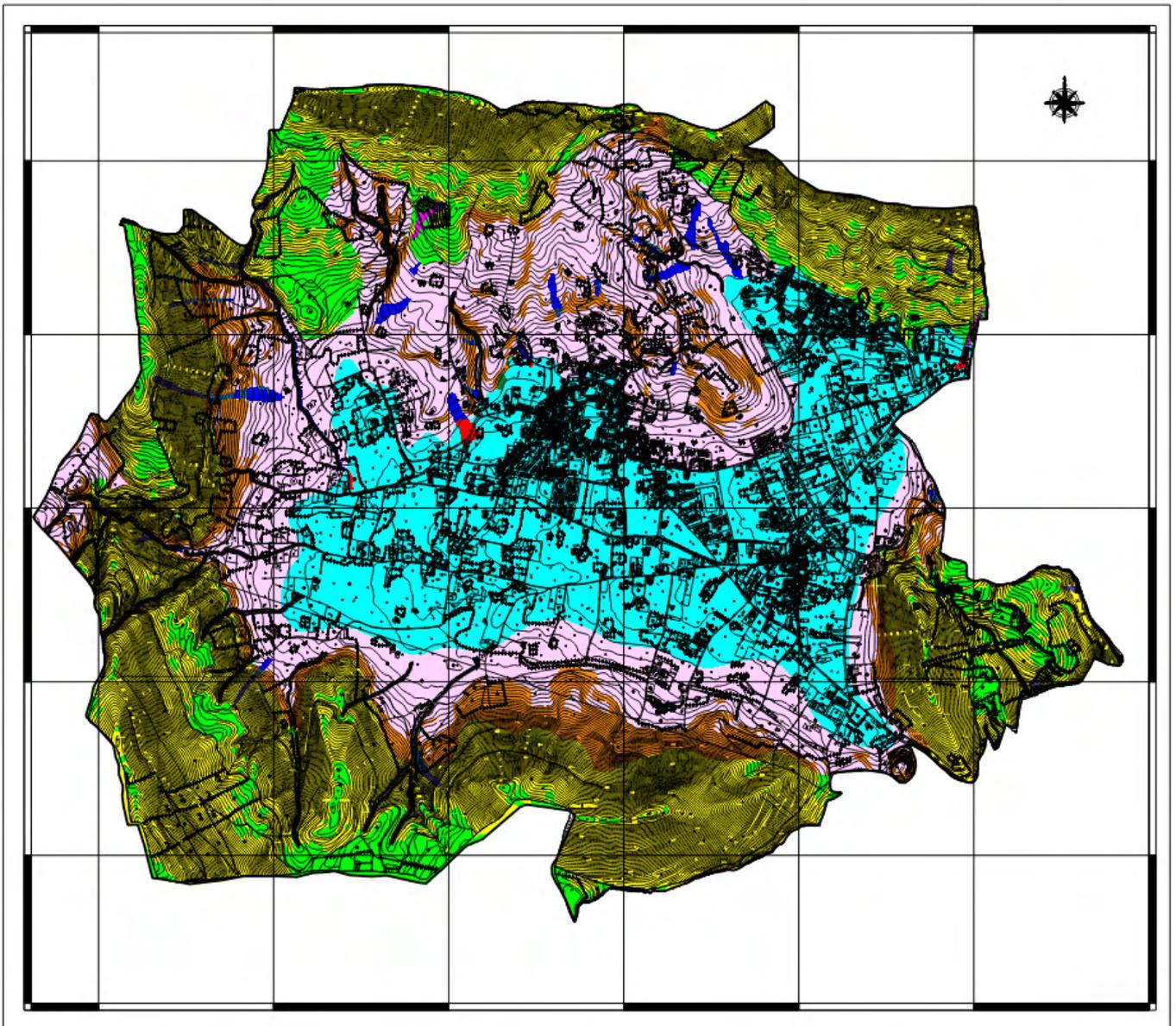


Fig. 100 – Tavola G20: Carta delle aree a maggiore pericolosità sismica locale

Lo studio della pericolosità locale a livello di pianificazione implica l'individuazione di quelle condizioni locali a cui si possono associare modificazioni dello scuotimento (amplificazioni) o effetti cosismici, in ogni caso con incremento della pericolosità sismica di base. Gli elementi che le caratterizzano sono stati direttamente rilevati e cartografati contemporaneamente alla redazione delle carte geologica, geomorfologica e di categoria di sottosuolo.

In occasione di eventi sismici, le particolari condizioni geologiche e geomorfologiche di una zona (condizioni locali) possono influenzare la pericolosità sismica di base, producendo effetti diversi da considerare nella valutazione generale della pericolosità sismica dell'area.

Nel caso del Comune di Forino ci si riferisce agli effetti che un evento sismico può produrre sui terreni di copertura sciolti e, in generale, su quelle litologie che presentano condizioni di equilibrio al limite della stabilità (aree caratterizzate da fenomeni franosi attivi o quiescenti).

A tal proposito è stata valutata la differente risposta sismica delle coperture detritiche sovrastanti le relative formazioni di base, costituenti il substrato rigido, prendendo in considerazione i dati scaturiti dalle indagini sismiche svolte nel territorio comunale.

In questo modo, oltre a definire l'assetto geometrico ed il comportamento meccanico delle coltri detritiche e di alterazione, si è potuto suddividere l'intero comprensorio comunale in classi omogenee per quanto riguarda il comportamento in prospettiva sismica, aventi valori di risposta microsismica gradualmente peggiorativa in funzione delle proprietà geotecniche, spessore delle coperture e fattori ambientali locali.

Scopo della zonazione sismica è stato quello di fornire un elaborato cartografico, basato principalmente sulle indicazioni contenute nella Legge n°9 del 07.01.83, promulgata dalla Regione Campania, in cui è espresso, in termini quantitativi e utili ai fini ingegneristici ed urbanistici, la pericolosità sismica del territorio esaminato. Si è trattato, cioè, di suddividere l'intero territorio comunale in aree omogenee che risentono degli stessi effetti distinti in funzione del comportamento dinamico dei materiali coinvolti.

Pertanto questo elaborato, finalizzato al riconoscimento delle aree potenzialmente pericolose dal punto di vista sismico, è basato, in primo luogo, sull'identificazione della categoria di terreno presente in una determinata area.

In funzione, quindi, delle caratteristiche del terreno presente, si è potuto distinguere due grandi gruppi di effetti locali:

**1) Effetti di sito o di amplificazione sismica locale**

**2) Effetti di sito o di amplificazione sismica locale**

### 1) Effetti di sito o di amplificazione sismica locale

Interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento stabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese; tali effetti sono rappresentati dall'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico (terremoto di riferimento), relativo ad una formazione rocciosa di base (*bedrock*), può subire, durante l'attraversamento degli strati di terreno sovrastanti il *bedrock*, a causa dell'interazione delle onde sismiche con le particolari condizioni locali. Tali effetti si distinguono in due gruppi che possono essere contemporaneamente presenti nello stesso sito (Fig. 101):

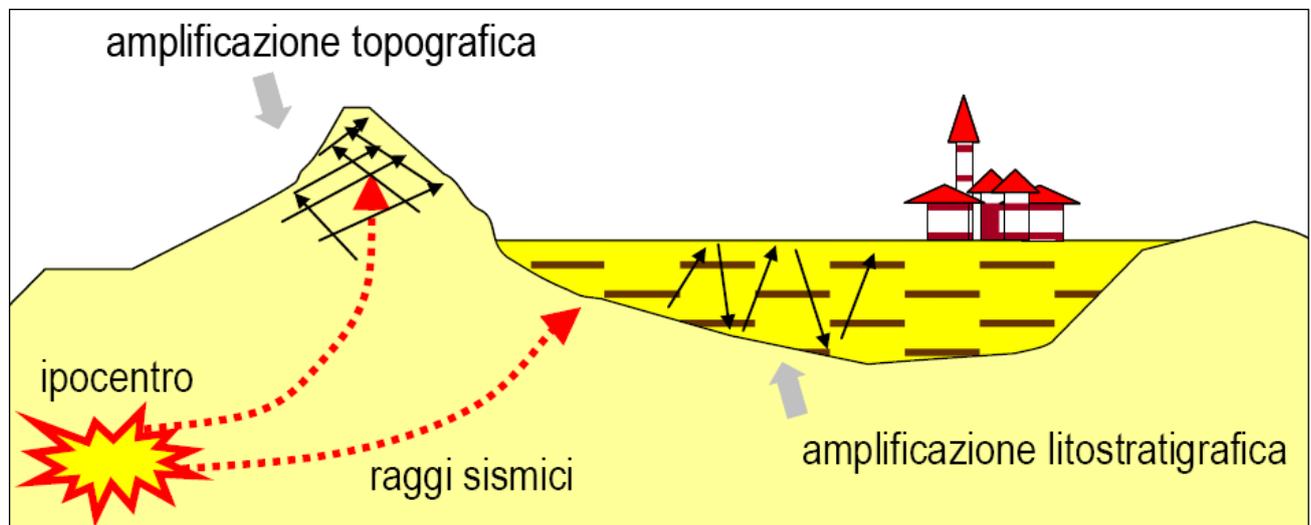


Fig. 101 – Effetti di sito o di amplificazione sismica locale

- Effetti di amplificazione topografica: si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie superficiali più o meno articolate e da irregolarità topografiche in generale; tali condizioni favoriscono la focalizzazione delle onde sismiche in prossimità della cresta del rilievo a seguito di fenomeni di riflessione sulla superficie libera e di interazione fra il campo d'onda incidente e quello diffratto; se l'irregolarità topografica è rappresentata da substrato roccioso (*bedrock*) si verifica un puro effetto di amplificazione topografica, mentre nel caso di rilievi costituiti da materiali non rocciosi l'effetto amplificatorio è la risultante dell'interazione (difficilmente separabile) tra l'effetto topografico e quello litostratigrafico di seguito descritto.

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

Tabella 3.2.IV delle NTC – Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Per tener conto delle condizioni topografiche si utilizzano i valori del coefficiente topografico  $S_T$  riportati nella Tab. 3.2.VI delle NTC, in funzione delle categorie topografiche e dell'ubicazione dell'opera.

Tabella 3.2.VI delle NTC – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
<b>T1</b>		1,00
<b>T2</b>	In corrispondenza della sommità del pendio	1,20
<b>T3</b>	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,20
<b>T4</b>	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,40

- Effetti di amplificazione litostratigrafica: si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie sepolte (bacini sedimentari, chiusure laterali, corpi lenticolari, eteropie ed interdigitazioni, gradini di faglia ecc.) e da particolari profili stratigrafici costituiti da litologie con determinate proprietà meccaniche; tali condizioni possono generare esaltazione locale delle azioni sismiche trasmesse dal terreno, fenomeni di risonanza fra onda sismica incidente e modi di vibrare del terreno e fenomeni di doppia risonanza fra periodo fondamentale del moto sismico incidente e modi di vibrare del terreno e della sovrastruttura.

In merito all'amplificazione stratigrafica per sottosuolo di categoria **A** i coefficienti  $S_s$  e  $C_c$  valgono **1,00** mentre per le categorie di sottosuolo **B**, **C**, **D**, ed **E** tali coefficienti possono essere calcolati, in funzione dei valori di  $F_0$  e  $T^*_c$  relativi al sottosuolo di categoria **A**, mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.V delle NTC, nelle quali  $g$  è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

Tabella 3.2.V delle NTC – Espressioni di  $S_s$  e di  $C_c$

Categoria Sottosuolo	$S_s$	$C_c$
<b>A</b>	1,00	1,00
<b>B</b>	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \bullet F_0 \bullet ag/g \leq 1,20$	$1,10 \bullet (T^*_c)^{-0,20}$
<b>C</b>	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \bullet F_0 \bullet ag/g \leq 1,50$	$1,05 \bullet (T^*_c)^{-0,33}$
<b>D</b>	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \bullet F_0 \bullet ag/g \leq 1,80$	$1,25 \bullet (T^*_c)^{-0,50}$
<b>E</b>	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \bullet F_0 \bullet ag/g \leq 1,60$	$1,10 \bullet (T^*_c)^{-0,20}$

## 2) Effetti dovuti ad instabilità:

Interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento instabile o potenzialmente instabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese e sono rappresentati in generale da fenomeni di instabilità consistenti in veri e propri collassi e talora movimenti di grandi masse di terreno incompatibili con la stabilità delle strutture; tali instabilità sono rappresentate da fenomeni diversi a seconda delle condizioni presenti nel sito (Fig. 102):

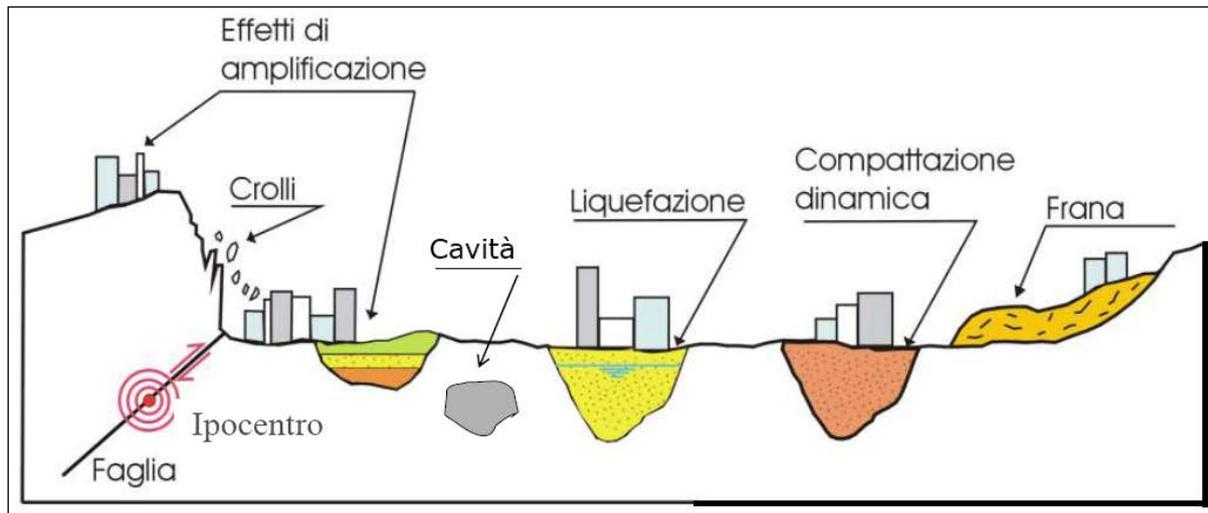


Fig. 102 – Effetti dovuti ad instabilità

- *Nel caso di versanti in equilibrio precario* (in materiale sciolto o in roccia) si possono avere fenomeni di riattivazione o neoformazione di movimenti franosi (crolli, scivolamenti rotazionali e/o traslazionali e colamenti), per cui il sisma rappresenta un fattore d'innescio del movimento sia direttamente a causa dell'accelerazione esercitata sul suolo sia indirettamente a causa dell'aumento delle pressioni interstiziali.
- *Nel caso di aree interessate da particolari strutture geologiche* sepolte e/o affioranti in superficie tipo contatti stratigrafici o tettonici quali faglie sismogenetiche si possono verificare movimenti relativi verticali e orizzontali tra diversi settori areali che conducono a scorrimenti e cedimenti differenziali interessanti le sovrastrutture.
- *Nel caso di terreni particolarmente scadenti* dal punto di vista delle proprietà fisico-meccaniche si possono verificare fenomeni di scivolamento e rottura connessi a deformazioni permanenti del suolo; per terreni granulari sopra falda sono possibili cedimenti a causa di fenomeni di densificazione ed addensamento del materiale, mentre per terreni granulari fini (sabbiosi) saturi di acqua sono possibili fluimenti e colamenti parziali o generalizzati a causa dei fenomeni di liquefazione.
- *Nel caso di siti interessati da particolari strutture vucolari* presenti nel sottosuolo si possono verificare fenomeni di subsidenza più o meno accentuati in relazione al crollo parziale o totale di cavità sotterranee.

Di seguito si riportano le condizioni di amplificazione sismica locale che si ritengono possano verificarsi nel territorio comunale di Forino.

**Zone A1s - Zone stabili e non suscettibili a fenomeni di amplificazione per effetti stratigrafici e/o topografici.**

Categoria di sottosuolo A

- Coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s = 1,00$ .

Categoria topografica T1

- Coefficiente di amplificazione topografica  $ST = 1,00$ .

**Zone A2s - Zone stabili per le quali sono possibili solo fenomeni di amplificazione per effetti topografici.**

Categoria di sottosuolo A

- Coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s = 1,00$ .

Categoria topografica T2

- Coefficiente di amplificazione topografica  $ST = 1,00 < ST \leq 1,20$ .

**Zone B1s - Zone stabili per le quali sono possibili solo fenomeni di amplificazione per effetti stratigrafici.**

Categoria di sottosuolo B

- Coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s = 1,00 < S_s \leq 1,20$ .

Categoria topografica T1

- Coefficiente di amplificazione topografica  $ST = 1,00$ .

**Zone B2s - Zone stabili per le quali sono possibili contemporaneamente fenomeni di amplificazione per effetti stratigrafici e topografici.**

Categoria di sottosuolo B

- Coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s = 1,00 < S_s \leq 1,20$ .

Categoria topografica T2

- Coefficiente di amplificazione topografica  $ST = 1,00 < ST \leq 1,20$ .

**Zone C1s - Zone stabili per le quali sono possibili solo fenomeni di amplificazione per effetti stratigrafici.**

Categoria di sottosuolo C

- Coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s = 1,20 < S_s \leq 1,50$ .

Categoria topografica T1

- Coefficiente di amplificazione topografica  $ST = 1,00$ .

**Zone C2s - Zone stabili per le quali sono possibili contemporaneamente fenomeni di amplificazione per effetti stratigrafici e topografici.**

Categoria di sottosuolo C

- Coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s = 1,20 < S_s \leq 1,50$ .

Categoria topografica T2

- Coefficiente di amplificazione topografica  $ST = 1,00 < ST \leq 1,20$ .

**Zone A1i - Zone instabili e non suscettibili a fenomeni di amplificazione per effetti stratigrafici e/o topografici.**

Categoria di sottosuolo A

- Coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s = 1,00$ .

Categoria topografica T1

- Coefficiente di amplificazione topografica  $ST = 1,00$ .

**Zone A2i - Zone instabili per le quali sono possibili solo fenomeni di amplificazione per effetti topografici.**

Categoria di sottosuolo A

- Coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s = 1,00$ .

Categoria topografica T2

- Coefficiente di amplificazione topografica  $ST = 1,00 < ST \leq 1,20$ .

**Zone B1i - Zone instabili per le quali sono possibili solo fenomeni di amplificazione per effetti stratigrafici.**

Categoria di sottosuolo B

- Coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s = 1,00 < S_s \leq 1,20$ .

Categoria topografica T1

- Coefficiente di amplificazione topografica  $ST = 1,00$ .

**Zone B2i - Zone instabili per le quali sono possibili contemporaneamente fenomeni di amplificazione per effetti stratigrafici e topografici.**

Categoria di sottosuolo B

- Coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s = 1,00 < S_s \leq 1,20$ .

Categoria topografica T2

- Coefficiente di amplificazione topografica  $ST = 1,00 < ST \leq 1,20$ .

**Zone C1i - Zone instabili per le quali sono possibili solo fenomeni di amplificazione per effetti stratigrafici.**

Categoria di sottosuolo C

- Coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s = 1,20 < S_s \leq 1,50$ .

Categoria topografica T1

- Coefficiente di amplificazione topografica  $ST = 1,00$ .

Come si può notare, la graduazione assegnata per il territorio comunale di Forino, in termini di *Pericolosità sismica locale* (classe di comportamento sismico), è rappresentativa di terreni con comportamento microsismico man mano peggiorativo con il crescere dell'indice dell'instabilità.

Da qui l'assegnazione di una pericolosità sismica locale bassa alle aree omogenee definite stabili fino ad arrivare ad attribuire una pericolosità sismica locale molto elevata alle zone instabili caratterizzate da terreni a peggiore comportamento in caso di evento sismico.

## 15.20 Tavola G21 – Carta delle sezioni geologiche rappresentative

Le strutture presenti nella carta geolitologica sono state rappresentate mediante sezioni geologiche. Una sezione geologica è una rappresentazione delle strutture geologiche su di un piano verticale. Sono state realizzate più sezioni geologiche al fine di illustrare l'assetto geologico e strutturale dell'area esaminata.

## 16. Pericolosità geologica e pianificazione territoriale

### 16.1 Normativa di riferimento nell'ambito dell'Autorità di Bacino di competenza

Con D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. sono state soppresse le Autorità di Bacino di cui alla ex L.183/89 e istituite, in ciascun distretto idrografico, le Autorità di Bacino Distrettuali. Ai sensi dell'art. 64, comma 1, del suddetto D.lgs. 152/2006, come modificato dall'art. 51, comma 5 della Legge 221/2015, il territorio nazionale è stato ripartito in 7 distretti idrografici tra i quali quello dell'Appennino Meridionale, comprendente i bacini idrografici nazionali Liri-Garigliano e Volturno, i bacini interregionali Sele, Sinni e Noce, Bradano, Saccione, Fortore e Biferno, Ofanto, Lao, Trigno ed i bacini regionali della Campania, della Puglia, della Basilicata, della Calabria, del Molise.

Le Autorità di Bacino Distrettuali, dalla data di entrata in vigore del D.M. n. 294/2016, a seguito della soppressione delle Autorità di Bacino Nazionali, Interregionali e Regionali, esercitano le funzioni e i compiti in materia di difesa del suolo, tutela delle acque e gestione delle risorse idriche previsti in capo alle stesse dalla normativa vigente nonché ogni altra funzione attribuita dalla legge o dai regolamenti.

Con il DPCM del 4 aprile 2018 (pubblicato su G.U. n. 135 del 13/06/2018), emanato ai sensi dell'art. 63, c. 4 del decreto legislativo n. 152/2006, è stata infine data definitiva operatività al processo di riordino delle funzioni in materia di difesa del suolo e di tutela delle acque avviato con Legge 221/2015 e con D.M. 294/2016.

**L'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale**, nel cui territorio di competenza rientra anche il Comune di Forino, in base alle norme vigenti, ha fatto proprie le attività di pianificazione e programmazione a scala di Bacino e di Distretto idrografico relative alla difesa, tutela, uso e gestione sostenibile delle risorse suolo e acqua, alla salvaguardia degli aspetti ambientali svolte dalle ex Autorità di Bacino Nazionali, Regionali, Interregionali in base al disposto della ex legge 183/89 e concorre, pertanto, alla difesa, alla tutela e al risanamento del suolo e del

sottosuolo, alla tutela quali-quantitativa della risorsa idrica, alla mitigazione del rischio idrogeologico, alla lotta alla desertificazione, alla tutela della fascia costiera ed al risanamento del litorale (in riferimento agli articoli 53, 54 e 65 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 e s.m.i.).

La pianificazione di bacino fino ad oggi svolta dalle ex Autorità di Bacino ripresa ed integrata dall'Autorità di Distretto, costituisce riferimento per la programmazione di azioni condivise e partecipate in ambito di governo del territorio a scala di bacino e di distretto idrografico.

Il Piano di Bacino ha valore di Piano Territoriale di Settore e costituisce il documento di carattere conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, difesa e valorizzazione del suolo e alla corretta utilizzazione delle acque, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato, che deve essere predisposto in attuazione della Legge 183/1989 quale strumento di governo del bacino idrografico.

Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'ex Autorità di Bacino Campania Centrale, redatto ai sensi dell'art. 17, comma 6-ter della Legge 18 maggio 1989, n. 183, della Legge 3 agosto 1998, n. 267 modificata con Legge 13 luglio 1999, n. 226 e della Legge 11 dicembre 2000, n. 365, è stato adottato dal Comitato Istituzionale con Delibera n.1 del 23/02/2015 (B.U.R.C. n.20 del 23/03/2015). Il Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (di seguito definito PSAI) dell'ex AdB della Campania Centrale «è redatto ai sensi dell'art. 17 comma 6-ter della Legge 18 maggio 1989 n.183, riguarda il settore funzionale della pericolosità e del rischio idrogeologico, come richiesto dall'art. 1 del Decreto Legge 11 giugno 1998, n. 180, e dall'art. 1 -bis del Decreto Legge 12 ottobre 2000, n. 279».

«Il PSAI, nell'ambito del settore funzionale di competenza, persegue le finalità dell'art. 3 della L. 183/89, con particolare riferimento ai contenuti del comma 3, lettere b), c), d), f), l), m), dell'art. 17 della medesima legge».

Ai sensi dell'art. 1: «Il PSAI costituisce stralcio funzionale del piano di bacino ha valore di piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni, le norme d'uso del suolo e gli interventi riguardanti l'assetto idrogeologico del territorio di competenza dell'Autorità di bacino Regionale della Campania Centrale» (art. 1 "Finalità", comma 1).

«Il PSAI, allo scopo di perseguire le finalità di cui al comma 1, individua le aree a rischio idrogeologico molto elevato, elevato, medio e moderato, ne determina la perimetrazione, stabilisce le relative prescrizioni; delimita le aree di pericolo idrogeologico quali oggetto di azioni organiche per prevenire la formazione e l'estensione di condizioni di rischio; indica gli strumenti per assicurare coerenza tra la pianificazione stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico e la pianificazione territoriale della Regione Campania, anche a scala provinciale e comunale; individua le tipologie e la programmazione degli interventi di mitigazione o eliminazione delle condizioni di rischio e delle relative priorità, a completamento ed integrazione dei sistemi di difesa esistenti» (art. 1, "Finalità", comma 2).

«Il PSAI, in tutte le aree perimetrare con situazioni di rischio o di pericolo il piano persegue, alla scala di bacino, i seguenti obiettivi (art. 1, "Finalità", comma 3) »:

- a) prevedere e disciplinare vincoli e limitazioni d'uso del suolo, le attività e gli interventi antropici consentiti, le prescrizioni e le azioni di prevenzione nelle diverse tipologie di aree a rischio e di pericolo, nei casi più delicati, subordinatamente ai risultati di appositi studi di compatibilità idraulica o idrogeologica;
- b) stabilire norme per il corretto uso del territorio e delle risorse naturali nonché per l'esercizio compatibile delle attività umane a maggior impatto sull'equilibrio idrogeologico del bacino;
- c) dettare disposizioni per l'adeguamento della strumentazione urbanistico-territoriale, con la costituzione di vincoli, prescrizioni e destinazioni d'uso del suolo in relazione ai diversi gradi di rischio;
- d) conseguire condizioni accettabili di sicurezza idraulica e geologica del territorio mediante la programmazione degli interventi non strutturali e di quelli strutturali e la definizione delle esigenze di manutenzione, completamento ed integrazione dei sistemi di difesa esistenti;
- e) programmare la sistemazione, la difesa e la regolazione dei corsi d'acqua, anche attraverso la moderazione delle piene e la manutenzione delle opere, adottando modalità di intervento che privilegino la conservazione ed il recupero delle caratteristiche naturali del territorio;
- f) programmare altresì la sistemazione dei versanti e delle aree instabili a protezione degli abitati e delle infrastrutture, adottando modalità di intervento che privilegino la conservazione ed il recupero delle caratteristiche naturali del territorio;
- g) definire le necessità di manutenzione delle opere in funzione del grado di sicurezza compatibile e del rispettivo livello di efficienza ed efficacia;
- h) indicare le necessarie attività di prevenzione, di allerta e di monitoraggio dello stato dei dissesti.

«Il PSAI, inoltre» (art. 1, "Finalità", comma 4):

- a) definisce un quadro conoscitivo dei processi di versante e fluviali attraverso la raccolta, l'organizzazione e l'integrazione delle conoscenze disponibili, in modo da rappresentare il quadro dei fenomeni dell'intero bacino su elaborati cartografici in scala 1: 5000 sulla base del predetto quadro conoscitivo.
- b) individua e perimetra le aree classificate a pericolosità e rischio idrogeologico, considerando la propensione ai dissesti e le rispettive interferenze con la presenza di beni e interessi vulnerabili.

«Il PSAI, ai fini di una corretta interpretazione delle norme e degli elaborati di piano assume le definizioni di seguito riportate» (art. 2, "Definizioni", comma 1):

- a) Pericolosità idrogeologica: probabilità di occorrenza di un fenomeno di tipo idraulico entro un dato intervallo di tempo ed in una data area;
- b) Pericolosità relativa (susceptibilità) da frana: previsione spaziale, tipologica, dell'intensità e dell'evoluzione del fenomeno franoso;

- c) *Rischio idrogeologico: entità del danno atteso in una data area ed in un certo intervallo di tempo in seguito al verificarsi di un fenomeno di tipo idraulico e/o gravitativo di versante (frana) secondo la seguente formulazione:*

$$R = P \times E \times V = P \times D_P$$

dove:

- P (pericolosità): probabilità di accadimento, all'interno di una certa area e in un certo intervallo di tempo, di un fenomeno naturale di assegnata intensità;
  - E (elementi esposti): persone e/o beni e/o attività (economiche, sociali, ecc.) esposte ad un evento naturale;
  - V (vulnerabilità): grado di capacità (o incapacità) di un sistema/elemento a resistere all'evento naturale;
  - $D_P$  (danno potenziale): grado naturale di data intensità, funzione sia del valore che della vulnerabilità dell'elemento esposto;
- d) **Rischio atteso:** *il nuovo livello di rischio prodotto dalla variazione, in una data area, di uno o più fattori determinano il grado di rischio esistente;*
- e) **Rischio accettabile:** *il livello di rischio conseguente alla nuova realizzazione di opere e/o attività che non superi il valore di  $R_2$ , secondo la definizione di cui al D.P.C.M. 29 settembre 1998, e tale che i costi che gravano sulla collettività per lo stato di rischio che si andrà a determinare siano minori dei benefici socioeconomici conseguiti dall'opera o dall'attività;*
- f) **Pericolosità residua:** *il livello di pericolosità che persiste in una data area a seguito della realizzazione di un intervento di sistemazione idrogeologica;*
- g) **Ambito morfologico significativo:** *l'intera area caratterizzata dallo sviluppo di un fenomeno di dissesto idrogeologica, anche potenziale, che determina la pericolosità da frana;*
- h) **Rischio residuo:** *il livello di rischio che persiste in una data area a seguito della realizzazione di un intervento di sistemazione idrogeologica;*
- i) **Area declassata:** *area riclassificata a seguito di interventi di mitigazione della pericolosità e del rischio, che necessita di continuo monitoraggio per la verifica dell'efficienza e funzionalità delle opere;*
- j) **Area di cava a pericolosità indeterminata:** *area interessata da attività estrattiva i cui fronti possono essere interessati da fenomeni gravitativi, su cui deve essere svolto un approfondimento di carattere idrogeologico per l'esatta determinazione dei livelli di pericolosità esistenti, e il cui livello di rischio è assunto precauzionalmente come massimo;*
- k) **Reticolo idrografico superficiale:** *l'insieme dei corsi d'acqua e delle aste torrentizie, con esclusione dei sistemi di drenaggio artificiali, che convogliano le acque superficiali e che nella cartografia del presente Piano sono indicati come: "reticolo idrografico", "aste incise", "alveo strada" e "tratto tombato";*

- l) **Versanti occupati interamente da interventi antropici:** aree di versante in cui è venuto meno l'assetto naturale originario per l'esistenza di rilevanti interventi antropici che hanno profondamente modificato e alterato l'originaria configurazione morfologica;
- m) **Alveo strada:** elemento a rischio idraulico molto elevato per la compresenza di funzioni idrauliche ed antropiche
- n) **Opere in sotterraneo:** manufatti costruiti totalmente nel sottosuolo mediante operazioni coordinate di asportazione del terreno e/o roccia in posto e di messa in opera degli eventuali interventi di stabilizzazione delle cavità;
- o) **Opere interrato:** manufatti costruiti al di sotto dell'originario piano campagna previo sbancamento a cielo e successivo rinterro;
- p) **Categorie degli insediamenti:** nel presente Piano si è utilizzata la classificazione delle tipologie di insediamento in conformità alle definizioni ISTAT;

Case sparse - Case disseminate nel territorio comunale a distanza tale tra loro da non poter costituire nemmeno un nucleo abitato.

Nucleo abitato – Località abitata, priva del luogo di raccolta che caratterizza il centro abitato, costituita da un gruppo di case contigue o vicine, con almeno cinque famiglie e con interposte strade, sentieri, spiazzi, aie, piccoli orti, piccoli incolti e simili, purchè l'intervallo tra casa e casa non superi una trentina di metri e sia in ogni modo inferiore a quello intercorrente tra il nucleo stesso e la più vicina delle case manifestamente sparse.

Centro abitato - Aggregato di case contigue o vicine con interposte strade, piazze e simili, o comunque brevi soluzioni di continuità, caratterizzato dall'esistenza di servizi od esercizi pubblici (quali, ad esempio una chiesa regolarmente officiata, una scuola, una stazione ferroviaria, tranviaria o automobilistica, un ufficio pubblico, una rivendita di generi di privativa, una farmacia o un dispensario farmaceutico, un negozio e simili) costituenti la condizione autonoma di una forma di vita sociale, e generalmente determinanti un luogo di raccolta ove sogliono concorrere anche gli abitanti dei luoghi vicini per ragioni di culto, istruzione, affari, approvvigionamento e simili, in modo da manifestare l'esistenza di una forma di vita sociale coordinata dal centro stesso.

- q) **Zone territoriali omogenee:** Nell'ambito del presente Piano, anche ai fini della valutazione del danno atteso, si è utilizzata la classificazione convenzionale del territorio in zone omogenee di cui al D.M. 1444/68.
- r) **Definizione degli interventi di carattere urbanistico-edilizio:** ai fini dell'applicazione della presente normativa, per ragioni di omogeneità a scala di bacino, l'individuazione degli interventi di tipo urbanistico-edilizio ammissibili nelle aree a diversa pericolosità idrogeologica è riferita alla classificazione di cui al DPR 6 giugno 2001, n. 380 e ss.ii.mm. che per le finalità proprie delle presenti norme, devono intendersi prevalenti rispetto alle prescrizioni contenute negli urbanistici comunali vigenti; infatti i divieti ed i limiti delle

presenti norme vanno riferiti alla natura sostanziale dell'intervento, a prescindere dalla classificazione in cui gli stessi sono ascritti in base ai singoli strumenti urbanistici.

- s) **Carico insediativo (aumento del):** è tutto quanto riguarda gli insediamenti umani, la distribuzione ed il raggruppamento delle dimore dell'uomo che possono essere di tipo residenziale, produttivo e turistico ricettivo. Da ciò deriva che l'incremento del carico insediativo si riferisce ai nuovi interventi edilizi che comportano l'aumento del numero di abitanti, di addetti e di utenti rispetto all'esistente.
- t) **Volumi tecnici:** Devono intendersi per volumi tecnici i volumi strettamente necessari a contenere ed a consentire l'accesso di quelle parti degli impianti tecnici (idrico, termico, elevatorio, televisivo, ecc.) che non possono per esigenze tecniche di funzionalità degli impianti stessi, trovare luogo entro il corpo dell'edificio realizzabile nei limiti imposti dalle norme urbanistiche. La nozione di volume tecnico può essere applicata solo alle opere edilizie completamente prive di una propria autonomia funzionale, anche potenziale. Tale nozione non può essere riferita, invece, a locali, in specie laddove di ingombro rilevante, tali da mutare la consistenza dell'edificio in quanto oggettivamente incidenti in modo significativo sui luoghi esterni.

«Il PSAI, è costituito dai seguenti elaborati» (art. 3, "Elaborati del piano", comma 1):

**di progetto:**

- Relazione Generale
- Relazione Idraulica
- Relazione Idrologica
- Relazione Geologica
- Norme di Attuazione ed Allegati Tecnici
- Quaderno delle opere tipo
- Elaborati cartografici:
  - Carta della Pericolosità da Frana, scala 1:5000
  - Carta del Rischio da Frana, scala 1:5000
  - Carta della Pericolosità Idraulica, scala 1:5000
  - Carta della Vulnerabilità idraulica a carattere topografico (territorio ex AdB Sarno), scala 1:5000
  - Carta del Rischio Idraulico, scala 1:5000
  - Carta degli scenari del rischio idrogeologico R3 ed R4, relativo alle principali strutture ed infrastrutture antropiche, scala 1:5000

**di analisi:**

- Carta della mosaicatura P.R.G. – P.U.C., scala 1:75000
- Carta dei parchi, oasi e riserve naturali, scala 1:75000
- Carta delle infrastrutture – rete natura 2000 – beni archeologici, scala 1:75000
- Carta del valore esposto, scala 1:75000

- *Carta della pericolosità Sismica, scala 1:75000 desunta da dati dell'Istituto Nazionale Geofisica e Vulcanologia*
- *Carta dei sinkholes di origine naturale, scala 1:75000 desunta da dati della Regione Campania – Difesa del Suolo*
- *Relazione uso del suolo – rischio idrogeologico*
- *Carta di sintesi aspetti vegetazionali e pericolosità geomorfologica, scala 1:5000*

«Il PSAI, è costituito, altresì, da elaborati di analisi propedeutici alla redazione del presente Piano, ed in particolare dalle seguenti cartografie, schede e documenti di indagine e studio, non parte integrante del Piano, ma a disposizione per la consultazione presso la sede dell'Autorità di Bacino» (art. 3, "Elaborati del piano", comma 2):

- *Carta inventario fenomeni franosi*
- *Carta geolitologica*
- *Carta geomorfologica*
- *Carta delle coperture*
- *Carta della suscettibilità all'innesco da frana*
- *Relazione metodologica sulla suscettibilità all'innesco al transito e all'invasione per frane in roccia*
- *Studio multidisciplinare ed integrato di un versante in roccia dell'isola d'ischia*
- *Sistema di early-warning per la mitigazione del rischio*

«Il PSAI, con le relative norme di attuazione e prescrizioni si applica al territorio di competenza dell'Autorità di Bacino Regionale della Campania Centrale così come individuato dalla L.R. n. 1 del 27/01/2012» (art. 4, "Ambito territoriale di applicazione", comma 1).

«Il PSAI, è adottato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino Regionale della Campania Centrale tenuto conto del parere della Conferenza Programmatica indetta dalla Regione Campania, ai sensi della legislazione vigente, alla quale partecipano le Province ed i Comuni interessati» (art. 5, "Procedimento di adozione e pubblicità del piano", comma 1).

Ai sensi dell'art. 6: «Le norme di attuazione e le prescrizioni contenute nel Piano Stralcio hanno carattere immediatamente vincolante per amministrazioni ed enti pubblici nonché per i soggetti privati; i Comuni, le Amministrazioni Provinciali, le Comunità Montane e tutti gli Enti territorialmente interessati dal Piano di Bacino sono comunque obbligati ad adeguare i rispettivi strumenti di pianificazione e programmazione a norma della legislazione vigente» (art. 6, "Efficacia ed effetti del Piano Stralcio adottato e approvato", comma 1).

Ai sensi dell'art. 6: «In conformità del presente Piano si conferma l'obbligo di adozione e/o adeguamento, da parte degli organi di protezione civile, della conseguente pianificazione di emergenza ai sensi delle disposizioni di legge, con particolare riguardo alla legge 225/92, così come modificata dalla L. 100/12» (art. 6, "Efficacia ed effetti del Piano Stralcio adottato e approvato", comma 2).

Ai sensi dell'art. 6: «I Programmi regionali ed i piani territoriali quali, in particolare, quelli relativi ad attività agricole, zootecniche ed agroforestali, alla tutela della qualità delle acque, alla gestione dei rifiuti, alla tutela dei beni ambientali e alla bonifica dei siti inquinati, alle attività estrattive, a reti e servizi infrastrutturali di rilevanza strategica ed economico-sociale, all'uso del territorio per attività produttive (industriali, commerciali, e/o di rilevante valore socio-economico), vanno coordinati con il presente Piano Stralcio. A tal fine le autorità competenti provvedono entro dodici mesi dall'approvazione ad adeguare i propri strumenti di pianificazione e programmazione» (art. 6, "Efficacia ed effetti del Piano Stralcio adottato e approvato", comma 3).

Ai sensi dell'art. 6: «I Comuni hanno l'obbligo di introdurre nei certificati di destinazione urbanistica le informazioni sulle perimetrazioni delle aree a pericolosità e rischio idrogeologico» (art. 6, "Efficacia ed effetti del Piano Stralcio adottato e approvato", comma 4).

Ai sensi dell'art. 7: «L'Autorità di Bacino esprime pareri preventivi-obbligatori sugli atti di sua competenza al fine di valutarne la compatibilità con le norme di attuazione del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico» (art. 7, "Pareri dell'Autorità di Bacino", comma 1).

Ai sensi dell'art. 7: «Sono sottoposti all'Autorità di bacino per l'espressione del parere i seguenti atti» (art. 7, "Pareri dell'Autorità di Bacino", comma 2):

- a) i Piani Territoriali di Coordinamento Provinciale;
- b) gli strumenti urbanistici comunali e loro varianti generali,
- c) i piani attuativi degli strumenti urbanistici comunali ricadenti in aree a rischio;
- d) le varianti particolari degli strumenti urbanistici comunali ricadenti in aree a rischio;
- e) i progetti di opera pubblica o di interesse pubblico in aree a rischio atteso R3 e R4;
- f) i piani di settore e loro varianti generali, in materia urbanistica, di sviluppo industriale e commerciale ed ogni altro piano territoriale o di settore che abbia ricadute sul rischio idrogeologico;
- g) i piani regionali delle attività estrattive, i progetti di ricomposizione ambientale delle aree di cava ricadenti in aree a rischio e le attività di cava di cui all'art. 30 del presente Piano;
- h) i programmi di intervento per la mitigazione del rischio;
- i) i progetti di opere strutturali per la mitigazione del rischio;
- j) i Piani di Emergenza di Protezione Civile limitatamente agli scenari di rischio idrogeologico;
- k) le proposte di varianti al presente Piano Stralcio da parte degli Enti Locali.

Ai sensi dell'art. 7: «I piani, i programmi, gli studi e i progetti, questi ultimi ad un livello di progettazione definitiva, di cui al precedente comma 2, devono» (art. 7, "Pareri dell'Autorità di Bacino", comma 3):

- essere sovrapponibili alle cartografie delle pericolosità e del rischio del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico e trovare in esse corrispondenza;
- essere accompagnati dallo studio di compatibilità idraulica di cui all'art. 33 e/o lo studio di compatibilità geologica di cui all'art. 36.

## 16.2 Condizioni di fattibilità geologica

La valutazione della pericolosità del territorio in relazione ai fenomeni d'instabilità dei versanti è ormai, nelle realtà odierne, un'operazione necessaria e imprescindibile per una corretta gestione del territorio. Per poter pianificare correttamente lo sviluppo di un territorio comunale è necessario conoscere i diversi aspetti ambientali che lo caratterizzano.

Tra i vari elementi, assume un ruolo di particolare importanza la conoscenza delle aree instabili o potenzialmente instabili. Una corretta pianificazione territoriale infatti non può prescindere dai seguenti punti:

- *Assicurare a tutti i cittadini, a tutti i beni e a tutte le attività socio-economiche presenti in una data area un livello di sicurezza accettabile, atto a preservare l'incolumità di beni, persone e attività riguardo al possibile manifestarsi di eventi calamitosi.*
- *Inibire attività ed interventi che ostacolano o precludano il raggiungimento di livelli di sicurezza idrogeologica del territorio.*
- *Evitare la creazione di nuove situazioni di rischio, sia mitigando le situazioni di pericolosità geomorfologica, sia precludendo l'insediamento di nuovi elementi a rischio in aree instabili.*
- *Produrre un piano di coordinamento degli interventi sul territorio, atti a mitigare le situazioni di rischio e quando possibile quelle di pericolo.*

Per poter utilizzare un metodo generale e standard di valutazione del rischio geoambientale connesso con i fenomeni di instabilità dei versanti è necessario introdurre il concetto di pericolosità geologica. La cartografia di pericolosità geologica costituisce una tappa fondamentale per la conoscenza del territorio, quale elemento strategico e propedeutico alle attività di programmazione in materia di difesa, protezione e gestione del suolo e del sottosuolo.

La valutazione della pericolosità richiede l'analisi dei fattori che determinano le condizioni di instabilità e le mutue interazioni fra questi. Partendo da tali presupposti, questo lavoro si è preposto l'obiettivo prioritario di valutare la pericolosità geologica dei versanti in modo da rispondere alle reali e concrete esigenze della pianificazione territoriale a livello locale.

Per la produzione delle varie carte tematiche è stata utilizzata una metodologia di indicizzazione dei fattori di suscettività franosa che la rendono idonea alla valutazione della pericolosità geologica a scala locale. L'applicazione di tecnologie GIS ha permesso di produrre una cartografia di dettaglio sufficientemente omogenea e definita, utilizzabile concretamente in sede locale come supporto per le future scelte urbanistiche e di pianificazione territoriale.

Di seguito si indicano le condizioni ed i criteri generali di fattibilità in relazione agli aspetti geomorfologici e sismici che caratterizzano il territorio comunale.

Le condizioni di attuazione delle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali sono differenziate secondo le seguenti categorie di fattibilità:

- **Fattibilità senza particolari limitazioni (F1):** si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali non sono necessarie prescrizioni specifiche ai fini della valida formazione del titolo abilitativo dell'attività edilizia.
- **Fattibilità con normali vincoli (F2):** si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali sono indicate la tipologia di indagini e/o specifiche prescrizioni ai fini della valida formazione del titolo abilitativo dell'attività edilizia.
- **Fattibilità condizionata (F3):** si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali, ai fini dell'individuazione delle condizioni di compatibilità degli interventi con le condizioni di pericolosità riscontrate, sono definite la tipologia degli approfondimenti di indagine da svolgersi in sede di predisposizione dei progetti edilizi.
- **Fattibilità limitata (F4):** si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali la cui attuazione è subordinata alla realizzazione di interventi di messa in sicurezza che vanno individuati e definiti sulla base di studi e verifiche atti a determinare gli elementi di base utili per la predisposizione della relativa progettazione.

### 16.3 Criteri generali di fattibilità in relazione agli aspetti geomorfologici e sismici

1. Nelle situazioni caratterizzate da **instabilità massima** (Condizione di Fattibilità F4) è necessario rispettare i seguenti criteri generali:
  - a) *Non sono da prevedersi interventi di nuova edificazione o nuove infrastrutture che non siano subordinati alla preventiva esecuzione di interventi di consolidamento, bonifica, protezione e sistemazione.*
  - b) *Gli interventi di messa in sicurezza definitiva sulla base di studi geologici, idrogeologici e geotecnici, devono essere comunque tali da non pregiudicare le condizioni di stabilità nelle aree adiacenti, da non limitare la possibilità di realizzare interventi definitivi di stabilizzazione dei fenomeni franosi, da consentire la manutenzione delle opere di messa in sicurezza.*
  - c) *In presenza di interventi di messa in sicurezza dovranno essere predisposti ed attivati gli opportuni sistemi di monitoraggio in relazione alla topologia del dissesto.*
  - d) *L'avvenuta messa in sicurezza conseguente la realizzazione ed il collaudo delle opere di consolidamento, gli esiti positivi del sistema di monitoraggio attivato e la delimitazione delle aree risultanti in sicurezza devono essere certificati.*
  - e) *Relativamente agli interventi per i quali sia dimostrato il non aggravio delle condizioni di instabilità dell'area, purchè siano previsti, ove necessario, interventi mirati a tutelare la pubblica incolumità, a ridurre la vulnerabilità delle opere esposte mediante consolidamento o misure di protezione delle strutture per ridurre l'entità del*

*danneggiamento, nonché l'installazione di sistemi di monitoraggio per tenere sotto controllo l'evoluzione del fenomeno; della sussistenza delle condizioni di cui sopra deve essere dato atto nel procedimento amministrativo relativo al titolo abilitativo all'attività edilizia.*

2. Nelle situazioni caratterizzate da **instabilità forte** (Condizione di Fattibilità F3) è necessario rispettare i seguenti criteri generali:
  - a) *L'attuazione di interventi di nuova edificazione o nuove infrastrutture è subordinata all'esito di idonei studi geologici, idrogeologici, geotecnici e sismici finalizzati alla verifica delle effettive condizioni di stabilità ed alla preventiva realizzazione degli eventuali interventi di messa in sicurezza.*
  - b) *Gli eventuali interventi di messa in sicurezza, definiti sulla base di studi geologici, idrogeologici, geotecnici e sismici, devono essere comunque tali da non pregiudicare le condizioni di stabilità nelle aree adiacenti, da non limitare la possibilità di realizzare interventi definitivi di stabilizzazione e prevenzione dei fenomeni franosi, da consentire la manutenzione delle opere di messa in sicurezza.*
  - c) *In presenza di interventi di messa in sicurezza dovranno essere predisposti ed attivati gli opportuni sistemi di monitoraggio in relazione alla tipologia del dissesto.*
  - d) *L'avvenuta messa in sicurezza conseguente la realizzazione ed il collaudo delle opere di consolidamento, gli esiti positivi del sistema di monitoraggio attivato e la delimitazione delle aree risultanti in sicurezza devono essere certificati.*
  - e) *Possono essere attuati quegli interventi per i quali venga dimostrato che non determinano condizioni di instabilità e che non modificano negativamente i processi geomorfologici presenti nell'area; della sussistenza delle condizioni di cui sopra deve essere dato atto nel procedimento amministrativo relativo al titolo abilitativo all'attività edilizia.*
3. Nelle situazioni caratterizzate da **instabilità media** e da **instabilità limitata** (Condizione di Fattibilità F2) le condizioni di attuazione sono indicate in funzione delle specifiche indagini da eseguirsi a livello edificatorio al fine di non modificare negativamente le condizioni ed i processi geomorfologici presenti nell'area.
4. Nelle situazioni caratterizzate da **situazioni stabili** (Condizione di Fattibilità F1) possono non essere dettate condizioni di fattibilità dovute a limitazioni di carattere geomorfologico.

## 16.4 Considerazioni finali sull'uso del territorio

Dalla redazione delle varie carte tematiche è derivato un quadro sistematico delle diverse criticità presenti per il territorio di Forino ma soprattutto della loro distribuzione areale e delle loro interrelazioni. Al fine dunque di provvedere a fornire una adeguata visione dei significati che tali criticità assumono, nel generale discorso della pianificazione del territorio, si è proceduto ad individuare, per ciascuna specifica classe e per l'intero ambito territoriale, una serie di indicazioni metodologiche per un più corretto approccio con tali sensibilità.

Si evidenzia innanzitutto che quanto descritto non sostituisce in alcun modo tutte le prescrizioni ed indicazioni normative, nazionali e regionali vigenti, ma rappresenta un supporto nel riconoscimento delle singolarità e dei temi geologici che, nell'ambito delle successive fasi di progettazione puntuale, è opportuno approfondire con indagini e studi mirati il cui livello è anche in funzione della complessità dell'opera. Infatti il territorio è suddiviso in aree omogenee dal punto di vista delle caratteristiche e delle problematiche geologiche individuate. Ciascuna area definisce le porzioni di territorio che lo studio geologico generale ha permesso di riconoscere come caratterizzate da situazioni di criticità geologiche ai fini dell'utilizzo urbanistico.

Le carte tematiche, inoltre, consentono quindi di individuare le vocazioni e le suscettività d'uso del territorio in termini esclusivamente geologici.

Si ricorda che tutte le attività in materia di Lavori Pubblici ed urbanistica sono oggetto, nella stesura della relazione geologica, di quanto prescritto al D.M. LL.PP. del 11/3/88, di quanto previsto nella Normativa di Salvaguardia dell'Autorità di Bacino dell'Appennino Distretto Meridionale e di tutti gli enti sovraordinati, nonché da quanto specificatamente previsto dalle Norme Tecniche sulle Costruzioni e dalle Normativa in materia sismica.

### **AREE con criticità da instabilità**

Sono principalmente le aree montane e di raccordo con il fondovalle. Per tali porzioni di territorio, fermo restante quanto specificamente riportato nelle carte del PSAI dell'Autorità di Bacino, si ravvisa la necessità di predisporre, soprattutto nel caso di opere che prevedano attività di sbancamento e comunque di sterro e riporto, verifiche puntuali inerenti le caratteristiche del versante e le sue condizioni di stabilità, non tralasciando la necessità di verificare le condizioni idrauliche degli impluvi e la regimentazione delle acque piovane.

Per queste aree è condizione necessaria predisporre sempre adeguate opere di regimentazione delle acque superficiali. Inoltre in considerazione della generale pregevolezza paesaggistica di tali siti è auspicabile in ricorso alle tecniche dell'ingegneria naturalistica per la sistemazione e contenimento dei versanti e di sistemazioni idrauliche.

### **AREE con criticità da sismicità**

Sono le aree di fondovalle dove evidentemente si possono verificare valori di accelerazione potenzialmente maggiori per effetto della tipologia stratigrafica in sito.

Per queste aree si richiede dunque un approfondimento delle risposte di amplificazione locale e comunque si suggerisce di procedere alla verifica delle interazioni suolo-struttura per ciò che riguarda l'esistente patrimonio edilizio. Dunque al fine di indirizzare le attività urbanistiche in funzione delle criticità, si ritiene di suggerire, per tutti gli interventi edilizi di manutenzione a proporsi che interessino la struttura, di provvedere alla verifica di essa rispetto ai valori di accelerazione attesi.

### **AREE con criticità da falda**

Queste aree sono associate a quelle porzioni di territorio dove la falda è posta a profondità minori. Per tali aree, che coincidono in parte anche con il centro abitato di Forino, si ritiene utile oltre che procedere alla puntuale verifica della profondità della superficie della falda, anche mediante osservazioni indirette, provvedere, nell'ambito della specifica relazione geologica a chiarire gli opportuni interventi di difesa della stessa nel caso della realizzazione di opere di tipo fognario, di interventi di smaltimento mediante subirrigazione, realizzazione di pozzi a qualsiasi scopo. Il livello della falda deve, in ogni caso, essere accertato puntualmente, sinergicamente alla rilevazione dei dati relativi alle caratteristiche del litotipo in sito (caratteristiche granulometriche, di porosità e permeabilità), al fine di chiarire la tipologia della falda.

### **AREE con criticità da instabilità e falda**

Per queste aree, coincidenti principalmente nelle porzioni di territorio comunale dove si sono avuti fenomeni di sprofondamento naturale (sinkhole), si ritiene di indicare la necessità di provvedere a verifiche specifiche dell'oscillazione della superficie della falda in funzione della stabilità. In particolare è necessario verificare, anche mediante indagini indirette l'andamento e le caratteristiche della falda e la sua interrelazione con le coperture presenti.

Le finalità sono rivolte principalmente alla definizione degli approfondimenti geologici sulle caratteristiche del litotipo in sito e sulla presenza di cavità sotterranee.

### **AREE con criticità da sismicità e falda**

Valgono per queste aree tutte le considerazioni fatte per le aree critiche per sismicità a cui tuttavia vanno aggiunte considerazioni in merito alla specifica determinazione delle caratteristiche e delle profondità della falda per verificare la possibilità di fenomeni di liquefazione dei terreni.

Si richiede inoltre la specifica determinazione delle caratteristiche stratigrafiche presenti in sito, ovviamente in funzione dell'importanza dell'opera, mirate a definire le interrelazioni tra le accelerazioni attese e le amplificazioni per la quota della falda.

### **AREE con criticità da instabilità e sismicità**

In queste aree si applica quanto detto per i siti precedenti, tenendo tuttavia in debito conto che in tali zone si ritiene necessario predisporre le verifiche puntuali sulle caratteristiche del pendio e degli spessori di copertura, estendendo tali osservazioni ad un intorno giudicato significativo.

Ciò con la realizzazione di indagini e prove di campagne mirate alla definizione degli spessori di copertura e della locale risposta sismica dei terreni. Per tali aree si evidenzia che l'obiettivo primario degli approfondimenti è finalizzato a chiarire i rapporti tra eventuali instabilità di versante e le amplificazioni sismiche.

### **AREE con criticità da sismicità, stabilità e falda.**

Per queste aree, dove cioè le criticità sono strettamente correlate si rende necessario uno studio approfondito, anche in funzione del tipo e destinazione dell'opera a farsi, che metta in evidenza le interrelazioni esistenti tra le criticità.

Valgono pertanto per questo caso tutte le indicazioni riportate per le singole criticità, con la specifica finalità che lo studio geologico da eseguire, dimostri che le opere in progetto, non determinano aggravii e non subiscono le conseguenze per gli effetti cumulati dei fenomeni detti.

*Postiglione, Aprile 2022*

Il Geologo  
*dott. Antonio Viggiano*

Il Geologo  
*dott. Mattia Lettieri*