



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



Regione Emilia-Romagna



CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n. 77

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Regione Emilia – Romagna
Comune di Tornolo



Regione	Soggetto realizzatore	Data
Emilia Romagna	Dott. Geol. Domenico Bianco Collaboratori Dott. Geol. Massimiliano Trauzzi Dott. Geol. Gabriele Oppo	Settembre 2018

INDICE

1. INTRODUZIONE	2
2. BREVE DESCRIZIONE DELLO STUDIO	6
3. INDAGINI ED ANALISI	8
3.1. Sondaggio a carotaggio continuo	11
3.2. Indagini sismiche	11
4. APPROFONDIMENTI DI PRIMO E SECONDO LIVELLO	12
4.1. Carta delle indagini	12
4.2. Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica	14
4.2.1 Ambito "Tornolo Capoluogo"	17
4.2.2 Ambito "Tarsogno"	17
4.3. Carta delle frequenze naturali dei terreni	19
4.4. Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica	22
4.5. Carta delle velocità delle onde di taglio S	28
5. APPROFONDIMENTI DI TERZO LIVELLO	31
5.1. Analisi di risposta sismica locale	31
5.1.1 Pericolosità sismica di base e degli eventi di riferimento	31
5.1.2 Spettro di risposta rappresentativo	33
5.1.3 Selezione dei segnali sismici di riferimento	34
5.1.4 Modello stratigrafico e parametrizzazione sismica	35
5.1.5 Grafici di output della RSL	38
5.1.6 Risultati ottenuti dalla modellazione	39
5.2. Verifica di stabilità	49
5.2.1 Metodo di Verifica	49
5.2.2 Le ipotesi verificate	53
5.3. Carte di microzonazione sismica	57
6. BIBLIOGRAFIA	61
7. ALLEGATI	62

1. INTRODUZIONE

Il presente lavoro, redatto su incarico dell'*Unione dei Comuni Valli Taro e del Ceno con Determinazione n° 88 del 10/11/2017*, in seguito all'erogazione dei contributi, di cui all'*Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 344/2016* e decreto del *Capo Dipartimento della Protezione Civile del 21 giugno 2016* a favore degli enti locali, riguarda gli studi di Microzonazione Sismica con approfondimenti di III° livello del Comune di Tornolo, in Provincia di Parma (PR).

Questa fase di studio si prefigge di valutare gli scenari di pericolosità sismica emersi nel corso dei precedenti approfondimenti di I° e II° livello elaborati dallo scrivente nell'anno 2012, quindi di confermare ed eventualmente ridefinire le aree perimetrate sulla base della differente risposta sismica locale, anche attraverso l'impiego di metodologie di tipo numerico *1d*.

Nello specifico, in accordo con l'Amministrazione Comunale le indagini in sito e le analisi di microzonazione sismica di II° e III° Livello, in rapporto alle risorse economiche disponibili, sono state concentrate unicamente negli ambiti "*Tornolo Capoluogo*" e "*Tarsogno*", all'interno dei quali ricadono gli edifici di maggior interesse strategico, nonché le aree potenzialmente interessate da nuova edificazione.

In tali aree sono state riprodotte ed opportunamente modificate, le cartografie fondamentali del I° livello di approfondimento, in seguito all'aggiornamento degli standard di rappresentazione e alla realizzazione delle nuove indagini che hanno fatto emergere nuovi risultati, mentre quelle del II° livello sono state rielaborate e in alcuni casi sono state superate dalle corrispondenti di III° livello.

Oltre alle aree oggetto di approfondimento sopra menzionate, sono state riproposte ed opportunamente modificate le cartografie elaborate nel corso degli studi di I° e II° pregressi eseguiti sugli ambiti "*Frettolera*", "*Ravezza*", "*Santa Maria*" e "*Ponte Strambo*" e validati dalla Commissione Tecnica per il monitoraggio degli studi di microzonazione sismica del *Dipartimento di Protezione Civile* (ai sensi dell'*OPCM 3907/2010, art. 5, comma 7*) in data 20/07/2015.

Il documento tecnico a supporto dello studio è stato svolto in conformità alle seguenti disposizioni normative:

- *Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio", in merito agli "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica" approvati con Deliberazione dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna n° 112 del 2 maggio 2007;*
- *"Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" approvati in data 13 novembre 2008 dalla Conferenza delle Regioni e Province Autonome (da qui in avanti "ICMS").*

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento)

Comune di Tornolo (PR)

- D.G.R. n° 1051 del 18 luglio 2011 “Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione e concessione dei contributi di cui all’O.P.C.M. 3907/2010 e ss.mm.”.
- “Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica” - Versioni 2.0 e 4.0b, Roma, ottobre 2015 - Elaborato e approvato nell’ambito dei lavori della Commissione tecnica per la microzonazione sismica (da qui in avanti “SRAI”).
- Allegato A della deliberazione di Giunta regionale della Regione Emilia Romagna n. 2193 del 21/12/2015: “Art. 16 della L.R. n° 20 del 24/03/2000. Approvazione aggiornamento dell’atto coordinamento tecnico denominato “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica di cui alla deliberazione dell’Assemblea legislativa 2 maggio 2007, n° 12” (da qui in avanti “indirizzi regionali”).
- Allegato A2 “Criteri per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica e analisi della condizione limite per l’emergenza, di cui all’Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 293/2015 e Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile del 14 dicembre 2015” della deliberazione di Giunta regionale n. 573 del 28/04/2016 “O.C.D.P.C. 26 Ottobre 2015, N. 293 - Annualita' 2014 - Criteri per l'attribuzione di contributi per la realizzazione di interventi di riduzione del rischio sismico in edifici pubblici strategici e rilevanti, in edifici privati e per studi di microzonazione sismica, di cui all'art. 2, comma 1, lettere A), B) E C). Modalità di concessione e liquidazione dei contributi (da qui in avanti “Allegato A2 della delibera regionale”)

Si è fatto altresì riferimento alle pubblicazioni scientifiche in materia ed in particolare:

- *Ingegneria sismica - Anno XXVIII - n. 2 - 2011 “Indirizzi di microzonazione sismica”.*
- “Microzonazione sismica” – uno strumento consolidato per la riduzione del rischio sismico. L’Esperienza della Regione Emilia-Romagna (a cura del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli, 2012).

Per “Microzonazione Sismica” si intende la valutazione della pericolosità sismica locale attraverso l’individuazione di zone del territorio caratterizzate da comportamento sismico omogeneo, ovvero nell’individuazione e caratterizzazione delle zone stabili, le zone stabili suscettibili di amplificazione locale del moto sismico e le zone suscettibili di instabilità.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento)

Comune di Tornolo (PR)

Risulta perciò estremamente importante sviluppare gli studi di microzonazione già in fase pianificatoria, per poter indirizzare al meglio le scelte urbanistiche dell'Amministrazione al di fuori delle aree contraddistinte da elevata pericolosità sismica e, successivamente, per esercitare una funzione di supporto ai tecnici nella progettazione di nuove opere.

Contestualmente alla scala di dettaglio degli studi (*PSC, POC, PUA* ed esecutivi) e alle problematiche geologiche da affrontare, sono stati definiti 3 livelli di approfondimento, di seguito ordinati, con complessità d'analisi e costi d'esecuzione via via crescenti:

- *I° Livello di approfondimento: riguarda la raccolta e l'analisi di dati esistenti e, se possibile, la realizzazione di nuove indagini in sito. L'obiettivo finale consiste nella realizzazione della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS), che suddivide il territorio in microzone sismicamente omogenee;*
- *II° livello di approfondimento: oltre a correggere gli studi di I° Livello, si assegna un fattore moltiplicativo di amplificazione a ciascuna zona, attraverso l'impiego di abachi regionalizzati e formule empiriche. Il documento finale prodotto è rappresentato dalla Carta di microzonazione sismica;*
- *III° Livello di Approfondimento: viene utilizzato nei casi in cui l'opera in progetto risulti particolarmente importante oppure, nei casi in cui le condizioni geologiche si presentino estremamente complesse. Vengono sviluppate analisi di tipo numerico 1d o 2d, studi paleosismici ed analisi dinamiche. Viene prodotta una Carta di microzonazione sismica con approfondimenti.*

Come già accennato in precedenza, in funzione sia dei risultati conseguiti nel corso della redazione degli studi di I° e II° livello (*Dott. Geol. Domenico Bianco, 2012*) in corrispondenza dei centri abitati di *Tornolo Capoluogo, Tarsogno, Frettolera, Ravezza, Santa Maria del Taro e Ponte Strambo*, sia degli obiettivi di carattere pianificatorio manifestati dall'Amministrazione Comunale, le indagini in sito e gli approfondimenti di III° Livello hanno riguardato unicamente gli ambiti di "*Tornolo Capoluogo*" e "*Tarsogno*". Per le restanti aree, sono stati riproposti e opportunamente modificati i risultati desunti nel corso del precedente studio validato nel 2012.

In via preliminare, è stato condotto un esame bibliografico a scala comunale, per verificare la presenza di nuove indagini, rispetto a quanto già rilevato durante gli studi pregressi.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento)

Comune di Tornolo (PR)

Successivamente, sono state realizzate indagini geognostiche "ex-novo" (sondaggio a carotaggio continuo e prove sismiche di tipo puntuale e lineare) in corrispondenza delle aree che necessitavano di approfondimenti. Le informazioni raccolte hanno consentito di ricostruire il modello sismo-stratigrafico del sottosuolo, la cui definizione si colloca alla base degli studi di III° Livello.

A supporto delle indagini sono stati svolti sopralluoghi e i rilievi di campagna, per evidenziare tutti quegli aspetti che possono influire sul moto sismico di base oppure, dar luogo ad effetti indotti quali, instabilità dei versanti, cedimenti differenziali e/o liquefazione, aree di faglia ecc..

Una volta identificate le varie microzone presenti negli ambiti, si è proceduto al calcolo dei vari fattori di amplificazione, conseguiti in parte tramite analisi approfondite di III° Livello, con Risposta Sismica Locale, mentre in tutti gli altri casi sono state impiegate procedure semplificate (utilizzo di abachi definiti dalla *DGR 2193/2015*).

In corrispondenza di un corpo detritico quiescente sul quale ricade parzialmente l'abitato di Tarsogno ed alcuni edifici di interesse strategico, oltre alla riposta sismica locale è stata effettuata una verifica di stabilità di versante.

Nel corso dello studio, oltre alla presente relazione, sono stati redatti gli elaborati elencati nel **Capitolo 7**. I dati cartografici sono stati predisposti, oltre che in versione cartacea, in formato digitale (pdf, con risoluzione 300 dpi). I dati vettoriali sono forniti anche in formato *shapefile*.

Per l'archiviazione dei dati e l'*editing* dei documenti sono stati seguiti gli standard di riferimento contenuti nell'*Allegato D* della delibera regionale e dagli *SRAI*.

L'inserimento dei dati alfanumerici dei siti, delle indagini e dei parametri delle indagini è stato facilitato dall'utilizzo dell'apposito *software*: "MS – SoftMS" nella versione 4.0.

Quale base cartografica, si sono utilizzati gli stralci della Carta Topografica Regionale alla scala 1:5.000 (Elementi 215101, 215102, 215111, 215112, 215113, 215114, 215121, 215122, 215123, 215124, 215141, 215142, 215143, 215144, 215151, 215153, 215154, 215161, 215162, 215163, e 215164), georeferenziati con il sistema di riferimento *WGS84-UTM 33N*, seguendo le raccomandazioni fornite dagli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica (versione 4.0b)".

2. BREVE DESCRIZIONE DELLO STUDIO

Nel presente capitolo verranno descritti in maniera sintetica le analisi condotte e i risultati raggiunti nel corso dello studio di Microzonazione Sismica di III° Livello.

In accordo con l'amministrazione comunale, le indagini e gli approfondimenti di III° Livello hanno riguardato le aree di maggior interesse edificatorio, interamente ricomprese all'interno degli ambiti di "Tornolo Capoluogo" e "Tarsogno".

Lo studio di microzonazione di terzo livello è consistito pertanto nelle seguenti fasi:

1. individuazione delle microzone omogenee definite nei precedenti studi di microzonazione di I° e II° Livello;
2. definizione di aree rappresentative di situazioni stratigrafiche tipo definite nell'analisi precedente sulle quali effettuare gli approfondimenti di III° Livello;
3. realizzazione di indagini di tipo diretto (sondaggio a carotaggio continuo con esecuzione di *Down-Hole*) e indiretto (*MASW*, *Sismica a Rifrazione*, *HoliSurface* e *HVSR*), per ampliare le conoscenze sulla sismo-stratigrafia del sottosuolo degli ambiti in esame.
4. aggiornamento delle cartografie di I° e II° livello elencate di seguito, con dati delle nuove indagini, adottando gli *standard* più recenti:
 - a. Carte delle indagini
 - b. Carte geologico-tecniche
 - c. Carta delle Frequenze
 - d. Carte delle *MOPS*
 - e. Carte delle velocità delle onde di taglio *S* (*V_s*)
5. definizione delle curve di variazione dello smorzamento (*D*) e della rigidezza (*G/G₀*) in funzione della deformazione reperite in bibliografia, per le differenti tipologie di terreno.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento)

Comune di Tornolo (PR)

6. valutazione della risposta sismica locale, per i due siti indagati, mediante il programma **LSR 1D**, il quale calcola la risposta dinamica monodimensionale di una colonna di terreno utilizzando un modello di propagazione lineare delle onde, con proprietà dinamiche del terreno (elastiche e smorzamento) variabili in funzione del livello deformativo;
7. calcolo dei fattori di amplificazione attraverso procedure di III° Livello, per i siti rappresentativi, in termini di picco di accelerazione (FA_{PGA}), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido;
8. calcolo del fattore di amplificazione attraverso procedure di III° Livello, per i siti rappresentativi, in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FA_{IS}) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli $0.1-0.5$ s e $0.5-1.0$ s.
9. stima dei fattori di amplificazione, mediante le ultime tabelle regionali per le aree a cui non è possibile assegnare i valori ottenuti mediante risposta sismica locale, a causa del differente assetto sismo-stratigrafico.
10. realizzazione di un'analisi di stabilità di versante dinamica, all'interno del centro abitato di Tarsogno, inserendo come input sismico gli accelerogrammi ottenuti dall'analisi di risposta sismica locale e stima degli spostamenti massimi attesi.
11. redazione delle cartografie di microzonazione sismica per i diversi FA :
 - a. FA_{PGA}
 - b. $FA_{IS\ 0.1-0.5}$
 - c. $FA_{IS\ 0.5-1.0}$

3. INDAGINI ED ANALISI

Nel presente studio si è innanzitutto cercato di ampliare le conoscenze sulle caratteristiche sismostratigrafiche del sottosuolo, in un'area montana, come quella d'interesse, dove il numero delle indagini risulta limitato. Per tale motivo, in accordo con l'Amministrazione Comunale, tenendo conto delle somme a disposizione, tutte le prove di nuova esecuzione (geognostiche e geofisiche) nonché la definizione dei fattori di amplificazione attraverso le analisi di *Risposta Sismica Locale (RSL)* previste per gli studi di III° Livello, sono stati concentrati all'interno del perimetri urbanizzato/urbanizzabile degli ambiti di "Tornolo Capoluogo" e "Tarsogno". Inoltre, alcune delle suddette indagini sono state situate in prossimità degli edifici strategici maggiormente sensibili e di particolare interesse per la Protezione Civile (Sede Municipale e Scuole elementari), anche per consentirne un utilizzo per studi futuri.

Tutte le prove di nuova esecuzione sono state localizzate per i due ambiti studiati, come raffigurato in **Fig. 1** e **Fig. 2**.

La prima area oggetto di studi di III° Livello si trova all'interno dell'abitato di Tarsogno, in prossimità della Scuola elementare, dove è stato realizzato un sondaggio a carotaggio continuo. Data la natura detritica dei materiali rinvenuti durante l'esecuzione del sondaggio, non è stato possibile prelevare un campione indisturbato da sottoporre a prova di colonna risonante. Pertanto, per la definizione delle caratteristiche dinamiche del materiale sono state impiegate curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidezza (G/G_0) reperite in bibliografia. Successivamente all'interno del foro di sondaggio, opportunamente attrezzato, è stata svolta una prova sismica di tipo *Down-Hole*.

Sulla base dei risultati ottenuti dalle suddette indagini è stata quindi eseguita un'analisi di risposta sismica locale.

Un ulteriore approfondimento di III° livello è stato eseguito sempre in località Tarsogno, nella porzione settentrionale del centro abitato interessata da una frana quiescente di tipo complesso. Per tale motivo, oltre ad un'analisi di risposta sismica locale è stata effettuata una verifica di stabilità del corpo di frana in condizioni dinamiche.

L'area è stata indagata mediante la realizzazione di indagini sismiche a rifrazione e tipo *MASW*, dalle quali si sono ottenuti profili di velocità V_s .

Non si è proceduto alla verifica di stabilità relativa ai fenomeni franosi di scivolamento in massa (comunemente definiti *DGPV*) che interessano la quasi totalità dell'ambito di Tarsogno, per diverse motivazioni. Innanzitutto, i movimenti in oggetto ricoprono vaste porzioni di versante, attraverso una morfologia piuttosto articolata, con elevati spessori dei materiali coinvolti, variabili da punto a punto. A questo si aggiunge lo scarso numero di indagini in sito reperite, che consentano di ricostruire in maniera adeguata la geometria degli scivolamenti in massa, elemento che si pone alla base delle analisi di stabilità del versante.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento)

Comune di Tornolo (PR)

Relativamente alle aree che ricadono al di sopra di tale corpo franoso, sulla base di quanto detto, si è optato per un approccio di II° Livello che prevede, nella valutazione dei fattori di amplificazione l'impiego degli abachi regionalizzati definiti dalla DGR 2193/2015.

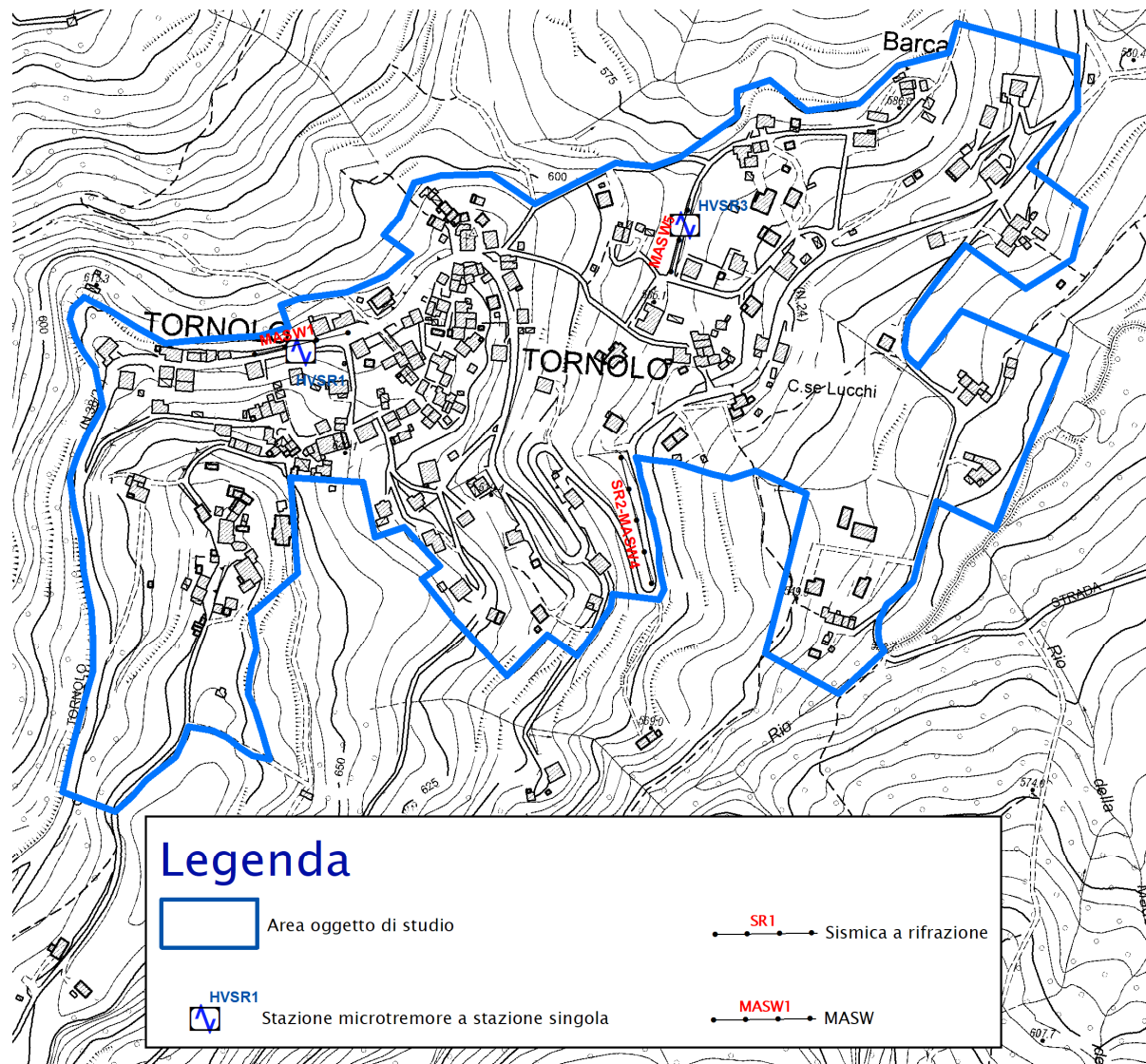


FIG. 1 – UBICAZIONE DELLE NUOVE INDAGINI NELL'AMBITO "TORNOLO CAPOLUOGO"

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento)

Comune di Tornolo (PR)

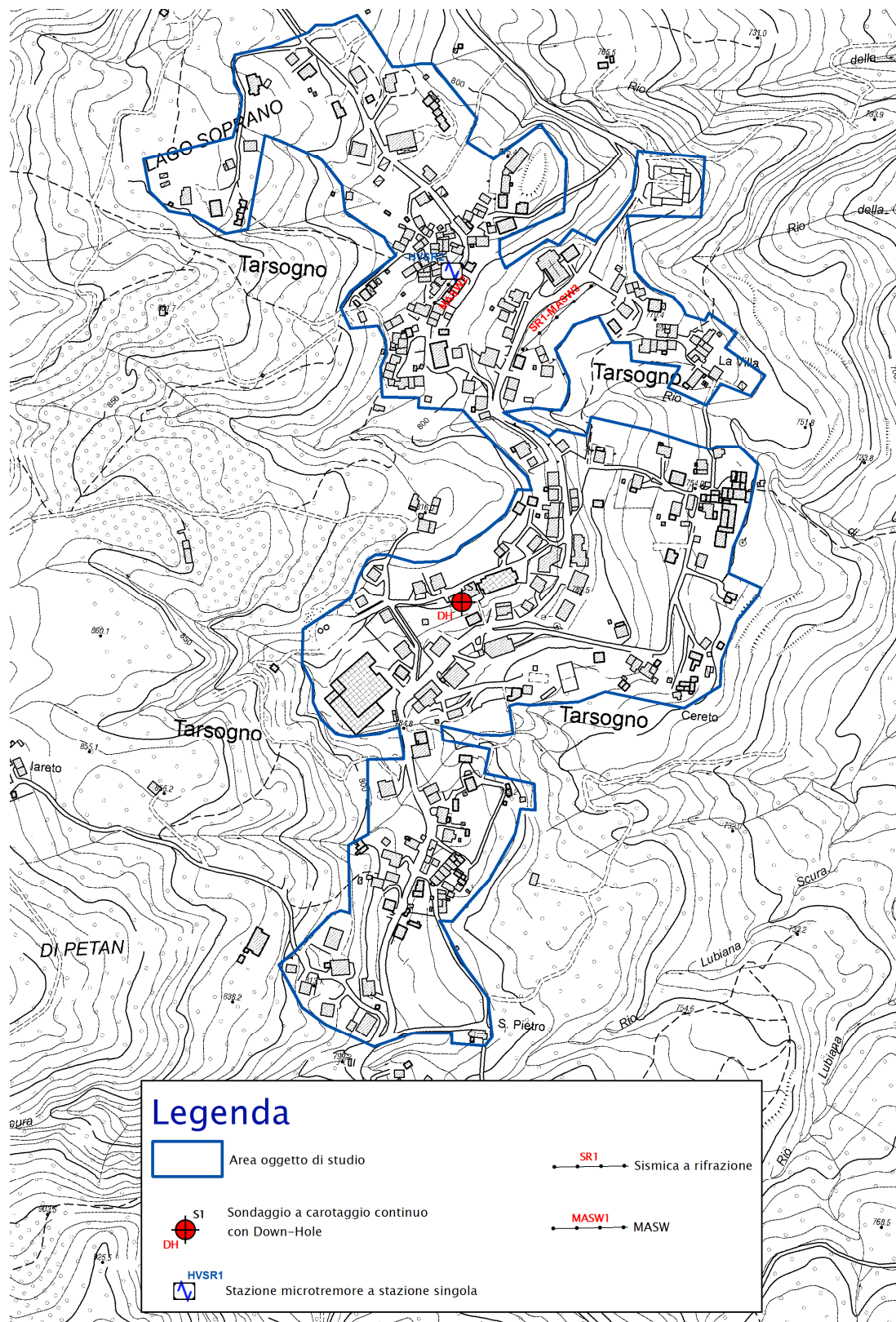


FIG. 2 – UBICAZIONE DELLE NUOVE INDAGINI NELL'AMBITO "TARSOGNO"

Di seguito vengono descritte le indagini e le analisi specifiche effettuate per la microzonazione di 3° livello.

3.1. Sondaggio a carotaggio continuo

Come già accennato, a corredo delle analisi effettuate nel presente studio è stato eseguito dalla ditta *Elletipi s.r.l.* di Ferrara n° 1 sondaggio a carotaggio continuo, spinto sino alla profondità di -30,00 m da p.c.

Al termine della perforazione, il sondaggio è stato attrezzato con un tubo in *PVC* del diametro di 3 pollici per l'esecuzione della prova Down-Hole.

Per l'esecuzione delle indagini è stata utilizzata una sonda a rotazione impiegando per la perforazione dei carotieri semplici.

Nella litostratigrafia allegata (**Elaborato 7**) sono riportate:

- le suddivisioni stratigrafiche con relative quote e le descrizioni litologiche effettuate direttamente in campagna con metodi speditivi;
- le quote di prelievo del campione indisturbato;
- la determinazione speditiva di campagna del valore di *pocket penetrometer*, espressi in Kg/cm^2 ;
- la determinazione del valore di *RQD* della roccia;
- il livello di falda misurato durante l'esecuzione della perforazione.

3.2. Indagini sismiche

Per caratterizzare da un punto di vista sismico l'ambito di interesse, a corredo dello studio si sono realizzati:

- n°1 indagine con tecnica DH - "Down-Hole";
- n°5 profili sismici con tecnica MASW - "Multichannel Analysis of Surface Waves";
- n°2 stendimenti in sismica a rifrazione (SR);
- n°3 prove di microtremore sismico HVSR - "Horizontal to Vertical Spectral Ratio" (HVSR).

Si inoltre è cercato di analizzare congiuntamente i dati acquisiti, calibrandoli in relazione ai risultati forniti dal sondaggio a carotaggio continuo di nuova esecuzione e dalle indagini geotecniche pregresse, con l'intento di definire modelli stratigrafico-sismici il più possibile rappresentativi delle aree indagate.

4. APPROFONDIMENTI DI PRIMO E SECONDO LIVELLO

4.1. Carta delle indagini

Per la redazione delle Carte delle Indagini (elaborati **1 e 1a**) sono state utilizzate le prove raccolte durante il precedente studio di II° livello, integrate, da prove rinvenute nell'archivio comunale a corredo di pratiche sismiche ed edilizie o presso altri enti operanti sul territorio e comunque depositate successivamente la consegna del precedente lavoro. Raccolte tali indagini e valutata la distribuzione sui territori di studio, si è pianificata la campagna geognostica "ex novo", con la realizzazione di indagini e prove mirate nei settori necessitanti di maggiori approfondimenti, per conseguire la definizione del modello geologico stratigrafico in maniera maggiormente approfondita e dettagliata. L'**Elaborato 1** (scala 1:5.000) raffigura tutte le indagini realizzate nell'intorno d'interesse degli ambiti di studio, mentre l'**Elaborato 1a** (scala 1:15.000) propone tutte le indagini raccolte nel presente lavoro e localizzate all'interno del territorio comunale.

Tutte le prove, sono state opportunamente codificate, analizzate ed elaborate, per consentire una corretta ricostruzione del modello geologico e dei mutui rapporti tra il substrato e la copertura, impiegando gli ultimi *standard* di archiviazione (*software*: "MS – SoftMS" nella versione 4.0), che non erano ancora in utilizzo, all'epoca della redazione del precedente studio.

Le indagini in sito di nuova realizzazione con le relative rappresentazioni grafiche, suddivise per tipologia in sondaggi geognostici e prove sismiche (tromografie, MASW e sismiche a rifrazione), sono contenute rispettivamente all'interno degli **elaborati 7 e 8**.

Nelle Carte delle Indagini, sono state distinte le prove in base alla tipologia, in:

- sondaggio a carotaggio continuo (distinguendo se intercetta o meno il substrato)
- prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)
- prova penetrometrica dinamica pesante e super pesante
- stazione microtremore a stazione singola
- Prova sismica a rifrazione
- MASW

come raffigurato nella legenda riportata in **Fig. 3**.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento)

Comune di Tornolo (PR)

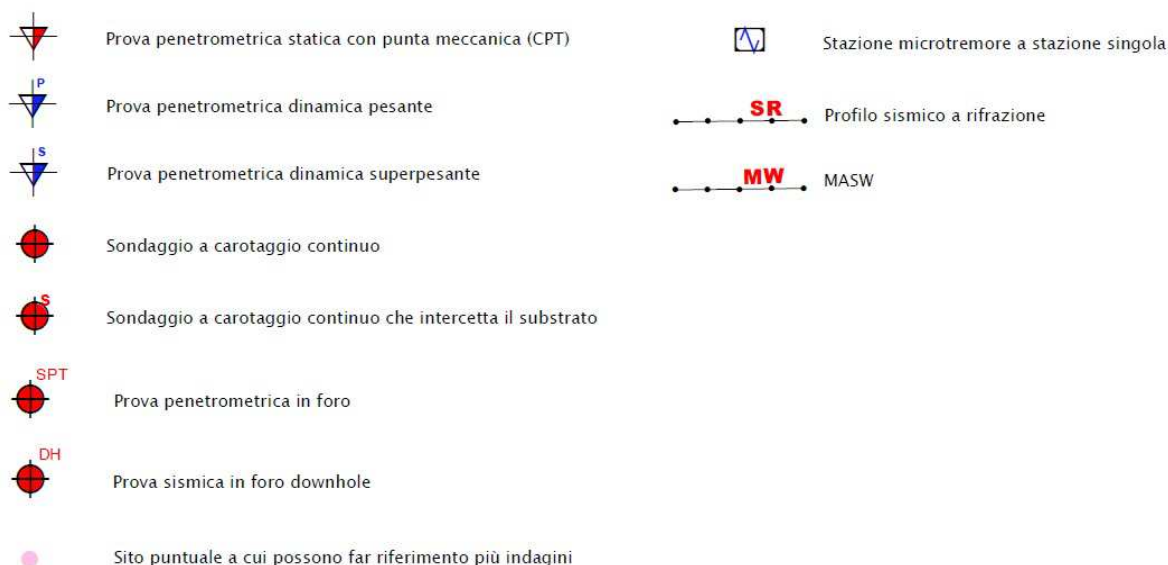


FIG. 3 – RAPPRESENTAZIONE DELLA LEGENDA DELLA CARTA DELLE INDAGINI

Nelle carte sono indicate anche alcune indagini esterne al perimetro del territorio urbanizzato e urbanizzabile, ove sono state concentrate le analisi, ma ugualmente utili a definirne le caratteristiche litostratigrafiche.

In **Tab. 1** vengono riportati il numero e la tipologia di indagini presenti sui territori studiati, acquisite mediante la ricerca effettuata presso l'archivio dell'Ufficio Tecnico Comunale o reperite attraverso la ricerca in archivi presso altri enti operanti sul territorio.

Tipologia di prova	Indagini provenienti da precedente studio di 2° livello	Indagini di nuova esecuzione	Totale
Prova penetrometrica con punta meccanica CPT	2	-	2
Prova penetrometrica dinamica pesante	8	-	8
Prova penetrometrica dinamica super - pesante	24	4	28
Sondaggio a carotaggio continuo	8	-	8
Sondaggio a carotaggio continuo che intercetta il substrato	12	1*	13
Stazione microtremore a stazione singola	35	7	42
Profilo sismico a rifrazione	6	-	6
MASW	-	7**	7

TAB. 1 – RIEPILOGO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE PRESENTI SUL TERRITORIO COMUNALE

*CON RIVESTIMENTO ED ESECUZIONE DOWNHOLE; **DUE DI QUESTE INDAGINI SONO STATE ESEGUITE CON MASW + SR

4.2. Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica

In tale elaborato sono state riportate le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche e idrogeologiche) derivate da elaborati esistenti, da indagini geognostiche pregresse e di nuova realizzazione.

Questi dati hanno consentito di definire il modello geologico del sottosuolo e sono risultate funzionali alla realizzazione della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica, che sarà descritta nel successivo paragrafo **4.4**.

Per la stesura della Carta geologico tecnica, si è fatto riferimento, in particolare, alla seguente documentazione, opportunamente verificata mediante sopralluoghi di campagna:

- “Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna”. Sezione 215120 “Tornolo” e Sezione 215160 “Passo Cento Croci”, alla scala 1:10.000, Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna
- “Nuova Carta del dissesto della Provincia di Parma”. Sezione 215120 “Tornolo” e Sezione 215160 “Passo Cento Croci”, alla scala 1:10.000, Servizio di Programmazione e Pianificazione Territoriale della Provincia di Parma (*Variante Specifica: aggiornamento Carta del dissesto, 2016*).
- indagini geognostiche eseguite in sito, per la descrizione delle quali si rimanda al precedente paragrafo **4.1**.

La carta geologico tecnica realizzata nel presente studio costituisce un aggiornamento di quella già redatta per gli studi di microzonazione di 2° livello ed è stata estesa su tutto il territorio comunale alla scala 1:10.000 (Cfr. **Elaborato 2.a - settore ovest** e **Elaborato 2.b - settore est**). La riproposizione di tale cartografia di analisi è risultata necessaria, innanzitutto a seguito delle variazioni di codifica e classificazione di categorie descrittive del substrato geologico introdotti dai più recenti *standard (Versione 4.0b)*. Inoltre, ulteriori correzioni sono state apportate in adeguamento ai recenti aggiornamenti della Carta del dissesto della Provincia di Parma che hanno interessato alcuni corpi detritici.

Sulla base delle nuove fonti informative, le unità geologico-litotecniche sono state distinte tra terreni di copertura (cartografati quando presentano uno spessore minimo di 3 m) e substrato geologico che, nelle zone di studio, risulta sempre non rigido (caratterizzato da $V_s \leq 800$ m/s) e suddiviso nelle seguenti categorie, identificate da un codice unico di riferimento:

- alternanze di litotipi, stratificate, identificate con il codice **ALS** (riconducibile ad esempio alle formazioni geologiche delle *Arenarie di Ponte Bratica*, del *Flysch di Monte Caio*, delle *Arenarie di*

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento)

Comune di Tornolo (PR)

Campi, del Complesso di Casanova, delle Arenarie di Monte Gottero, delle argilliti di Giaiette e delle Arenarie di Scabiazza);

- alternanze di litotipi - codice **AL** (*Argille a palombini, delle Argille e calcari di Canetolo e del Complesso di Casanova - brecce poligeniche a matrice pelitica e arenitica*);
- lapideo, con sigla **LP** (*Basalti brecciati, Serpentine, diaspri, Rocce granitoidi, e Scisti zonati*);
- Granulare cementato, stratificato, con codice **GRS** (*Macigno*);
- Granulare cementato - codice **GR** (*Arenarie di Monte Gottero - brecce argillitiche e Macigno slump intraformazionale*).

Nel caso delle coperture, è stato impiegato un codice multiplo che individua sia le caratteristiche tessiturali che l'ambiente genetico-deposizionale. Di seguito vengono elencate tutte le classi individuate per le coperture:

- Coperture di natura eluvio colluviale, di tipo detritico indicate con i codici combinati **MLec** e **Clec** e di origine paludosa (**CLpa**);
- depositi fluviali in evoluzione (**GPes**) e/o terrazzati (**GCtf**);
- depositi di origine morenica (**GMmr**);
- Depositi detritici di falda (**GPfd**).

A parte sono state raffigurate le aree interessate da instabilità di versante, con retini che ne indicano la tipologia e lo stato di attività.

Nella Carta geologico-tecnica sono stati indicati anche gli elementi tettonico-strutturali. Altri elementi geologici rappresentati sono i sondaggi distinti a seconda che raggiungano o meno il substrato, con indicazione della loro profondità.

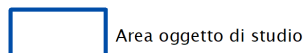
Sulla base degli studi e delle analisi effettuate la legenda della carta geologico-tecnica diventa la seguente (Cfr. **Fig. 4**).

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

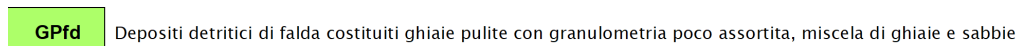
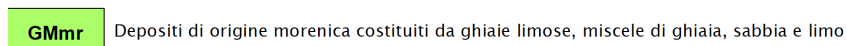
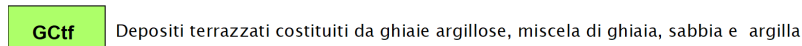
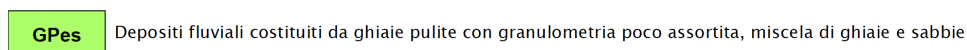
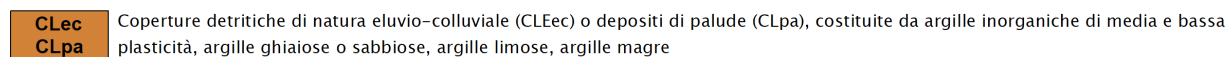
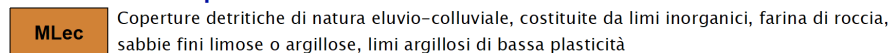
Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento)

Comune di Tornolo (PR)

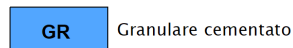
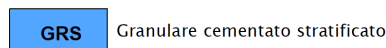
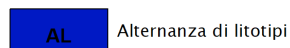
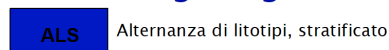
Legenda



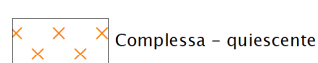
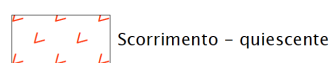
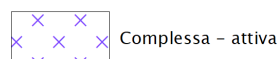
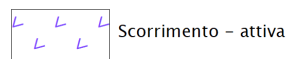
Terreni di copertura



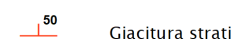
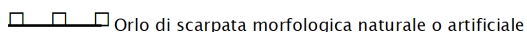
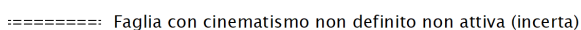
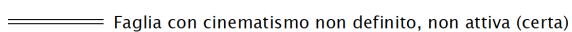
Substrato geologico



Instabilità di versante



Elementi tettonico-strutturali



Elementi geologici e idrogeologici

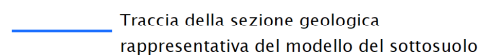
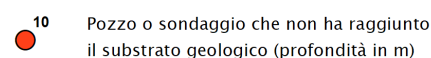
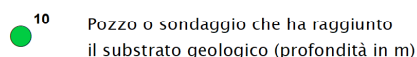


FIG. 4 – RAPPRESENTAZIONE DELLA LEGENDA DELLA CARTA GEOLOGICO-TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA

Nei successivi paragrafi viene sinteticamente descritto l'assetto geologico e geomorfologico che caratterizza i 2 ambiti oggetto di approfondimento del presente studio ("*Tornolo Capoluogo*" e "*Tarsogno*").

4.2.1 Ambito "Tornolo Capoluogo"

Il Capoluogo è ubicato al di sopra di un dosso morfologico in destra idrografica del Fiume Taro.

Gran parte del territorio urbanizzato e urbanizzabile è contraddistinto dal sub-affioramento del substrato geologico, riconducibile nel settore nord-orientale alla formazione delle *Argille a palombini* (identificato con il codice **AL**) e al *Flysch di Monte Caio* (**ALS**) nella restante porzione di ambito. Il contatto tra le due unità è di natura tettonica.

Sul fianco sud orientale del dosso morfologico si rileva un corpo detritico costituito da deposito di versante (**MLec**), alla base del quale sono presenti terreni che vanno a costituire un fenomeno gravitativo di tipo quiescente-complesso, che risulta solo parzialmente riattivato.

4.2.2 Ambito "Tarsogno"

Il centro abitato di Tarsogno si distribuisce lungo la Strada Provinciale di Tornolo che si sviluppa dal Capoluogo al Passo di Centro Croci e costituisce un collegamento viario tra la Regione Emilia Romagna e la Liguria. Le quote del piano campagna variano da 750,00 n s.l.m. a 850,00 m s.l.m.

La quasi totalità del territorio d'analisi è ricoperta da vasti fenomeni franosi, per lo più a tipologia quiescente, mentre solo in un limitatissimo areale posto all'estremità nord-orientale dell'ambito in prossimità del cimitero, evidenzia un substrato roccioso sub-affiorante delle *Arenarie di Ponte Bratica* (**ALS**).

Entrando nel dettaglio della tipologia dei movimenti gravitativi, si rileva che molto spesso si tratta di fenomeni in massa, complessi e profondi che interessano grandi ammassi rocciosi, talora con relative coperture superficiali, che si manifestano attraverso una deformazione per lo più lenta e progressiva della massa rocciosa, senza una superficie di scorrimento ben determinabile. Questi fenomeni vengono comunemente denominati *Deformazioni Gravitative Profonde di Versante* (**DGPV**). L'individuazione della reale profondità della superficie di scorrimento di tali movimenti in massa, è attuabile quasi esclusivamente attraverso stazioni di monitoraggio inclinometriche, del tutto assenti all'interno delle aree di interesse. Pertanto, laddove possibile, ai fini del presente studio, sono stati ricostruiti gli spessori dei depositi detritici sovrastanti attraverso l'analisi delle stratigrafie dei sondaggi a carotaggio continuo, integrati dalle informazioni desunte dalle prove sismiche.

Tra i fenomeni gravitativi in stato di attività a tipologia complessa, si rileva la porzione di un più vasto movimento di versante, allungato in direzione circa est-ovest, collocato verso l'estremità settentrionale dell'ambito.

L'assetto geologico degli ambiti di studio è raffigurato nelle sezioni di **Fig. 5**, ricostruite attraverso i risultati delle indagini geognostiche e geofisiche pregresse e di nuova realizzazione.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento)

Comune di Tornolo (PR)

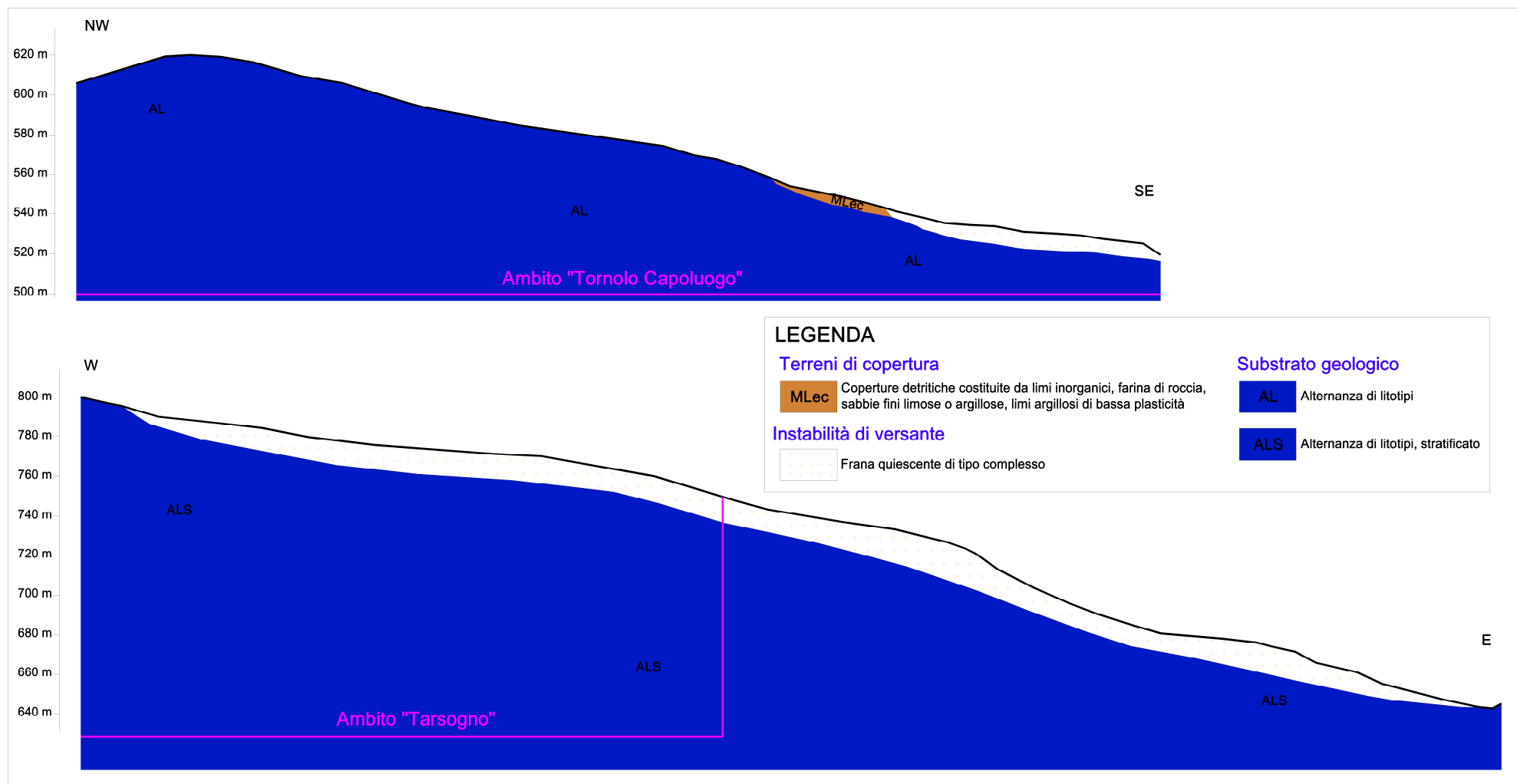


FIG. 5 – SEZIONI GEOLOGICHE INTERPRETATIVE DEGLI AMBITI DI STUDIO

4.3. Carta delle frequenze naturali dei terreni

Sulla base di tutti i dati tomografici disponibili, sia pregressi, sia di nuova acquisizione, è stata redatta la Carta delle frequenze naturali dei terreni, con scala di rappresentazione 1:5.000.

In questa carta, sono stati riportati tutti i punti di misura (25 di cui 11 relativi all'ambito Tornolo e 14 all'ambito Tarsogno), costituiti da indagini tomografiche, localizzate all'interno degli ambiti di studio o nelle immediate vicinanze, con associati i risultati delle singole prove. In particolare, sono stati indicati il valore F_0 del picco significativo, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale (frequenza principale) e, quando presente, il secondo picco significativo (frequenza secondaria), meno evidente del primo (F_1). Sono stati tralasciati i picchi con frequenze superiori ai 20 Hz, in quanto di scarso significato ai fini dello studio.

Gli indirizzi tecnici a cui si è fatto riferimento prescrivono, per rendere graficamente più evidenti le variazioni in relazione alla posizione, di utilizzare colorazioni differenti per distinguere le prove a seconda della frequenza principale ottenuta, definendo le seguenti classi:

- $F_0 \leq 0,6$ Hz
- $0,6 \text{ Hz} < F_0 \leq 1$ Hz
- $1 \text{ Hz} < F_0 \leq 2$ Hz
- $2 \text{ Hz} < F_0 \leq 8$ Hz
- $F_0 > 8$ Hz

Inoltre, sono state utilizzate simbologie diverse a seconda che la prova sia caratterizzata, in corrispondenza della frequenza principale, da un contrasto di impedenza elevato ($H/V \geq 3$), moderato ($2 \leq H/V < 3$), basso ($1,5 \leq H/V < 2$) e assente ($H/V < 1,5$) (Cfr. **Fig. 6**).












FREQUENZE NATURALI DEI TERRENI		FREQUENZA PRINCIPALE E RELATIVO VALORE (Hz)	
Classi di frequenza (Hz)		 Ampiezza picco $HSVR \geq 3$ Contrasto impedenza elevato	
Nessun picco significativo		 Ampiezza picco $2 \leq HSVR < 3$ Contrasto impedenza moderato	
$f_0 \leq 0,6$ Hz		 Ampiezza picco $1,5 \leq HSVR < 2$ Contrasto impedenza basso	
$0,6 \text{ Hz} < f_0 \leq 1$ Hz		 Ampiezza picco $HSVR < 1,5$ Assenza significativi contrasti impedenza	
$1 \text{ Hz} < f_0 \leq 2$ Hz		 FREQUENZA SECONDARIA (QUANDO PRESENTE) E RELATIVO VALORE (Hz)	
$2 \text{ Hz} < f_0 \leq 8$ Hz			
$f_0 > 8$ Hz			

FIG. 6 - STRALCIO DELLA LEGENDA DELLA CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEI TERRENI

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento)

Comune di Tornolo (PR)

Di seguito, viene proposta una tabella riepilogativa dei risultati delle prove tromografiche raccolte ed eseguite ricadenti nei due ambiti di studio o nelle immediate vicinanze, specificando, per ciascuna di esse, frequenza e ampiezza dei picchi principali e frequenze dei picchi secondari, se presenti:

Ambito	prova	picco principale F0		picco secondario F1
		Frequenza (Hz)	ampiezza H/V	Frequenza (Hz)
Tarsogno	034040P79	4,09	2,3	-
Tarsogno	034040P78	3,31	2,8	11
Tarsogno	034040P77	6,41	2,33	-
Tarsogno	034040P76	4	2,73	-
Tarsogno	034040P75	3,97	2,56	-
Tarsogno	034040P74	3,91	3,26	-
Tarsogno	034040P73	3,91	2,72	-
Tarsogno	034040P72	3,75	3,32	-
Tarsogno	034040P71	4,13	2,3	12,5
Tarsogno	034040P90*	4,6	3,3	14,4
Tarsogno	034040P91*	4,4	3,9	14
Tarsogno	034040P97*	0,7	3,1	-
Tarsogno	034040P99*	4,2	2,4	8,1
Tarsogno	034040P98*	8,6	2,6	2,4
Tornolo	034040P70	5,63	1,8	-
Tornolo	034040P69	3,91	1,6	-
Tornolo	034040P68	4,22	1,83	-
Tornolo	034040P67	5,31	1,39	-
Tornolo	034040P66	4,84	1,6	-
Tornolo	034040P65	7,5	2,29	-
Tornolo	034040P64	8,75	3,36	-
Tornolo	034040P63	14,69	3,68	-
Tornolo	034040P62	12,97	3,21	2,9
Tornolo	034040P96*	9,3	2,4	--
Tornolo	034040P100*	8,5	1,4	-

TAB. 2 – RIEPILOGO DEI RISULTATI DELLE PROVE TROMOGRAFICHE A TORNOLO E TARSOGNO, (*) PROVE REALIZZATE E REPERITE NELL'AMBITO DEL PRESENTE STUDIO

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento)

Comune di Tornolo (PR)

I dati relativi ai picchi principali sono stati rappresentati nei grafici di **Fig. 7**.

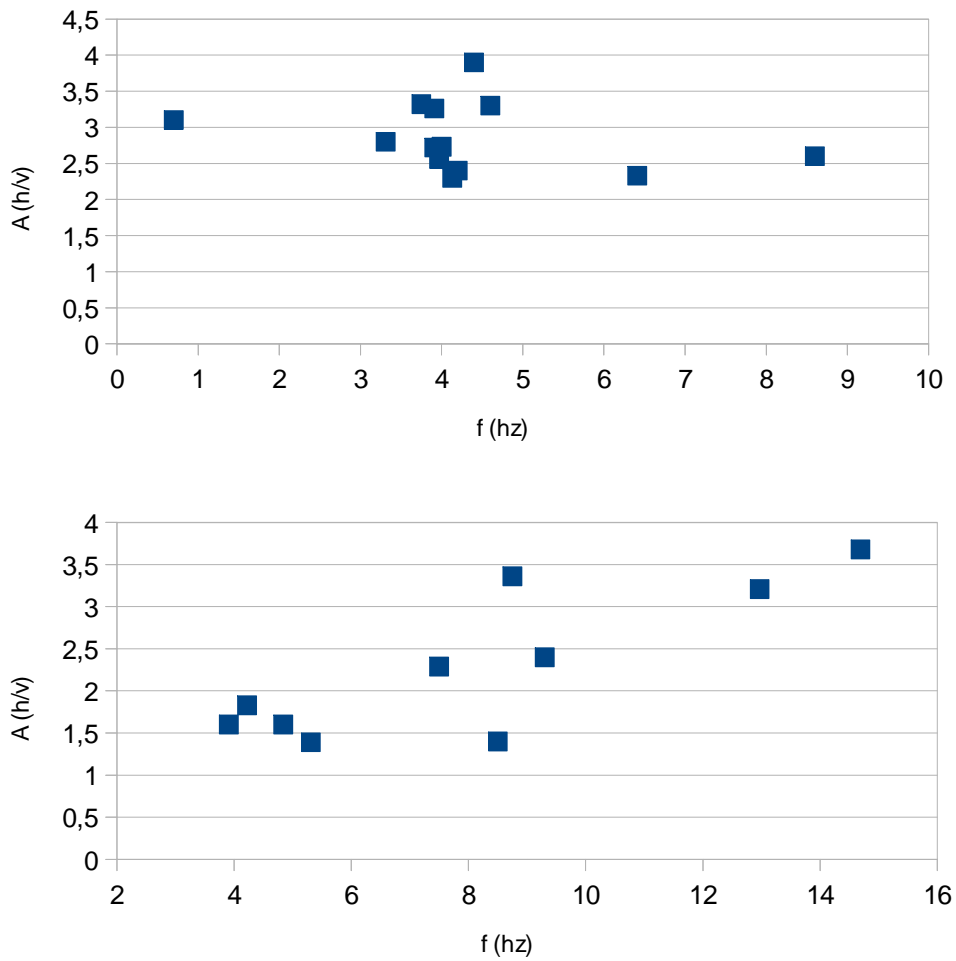


FIG. 7 – DISTRIBUZIONE DEI PICCHI DI FREQUENZA FONDAMENTALI E RELATIVE AMPIEZZE NELL'AMBITO DI STUDIO A TARSOGNO (IN ALTO) E TORNOLO (IN BASSO)

4.4. Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica

Rappresenta il documento fondamentale del I° livello di approfondimento in quanto, si ottiene mediante elaborazione dei tematismi geologico-morfologici e dei dati litostratigrafici forniti dalle indagini geognostiche e geofisiche.

L'obiettivo principale di detto elaborato, riguarda la suddivisione del territorio in aree omogenee caratterizzate da una diversa suscettibilità a fenomeni di amplificazione locale indotti dal sisma.

Viene predisposta con l'intento di definire, per ciascuna area, gli effetti attesi prodotti dall'azione sismica (amplificazioni, instabilità di versante, liquefazione, ecc.) e gli eventuali approfondimenti da affrontare.

Nel presente studio viene proposta una revisione di tale cartografia alla luce delle informazioni aggiuntive ottenute nel corso della realizzazione delle nuove indagini, tenendo inoltre conto dell'aggiornamento normativo e le variazioni che hanno subito gli *standard* di rappresentazione avvenuti in seguito all'elaborazione degli studi di I° e II° Livello.

In generale, nella cartografia delle **MOPS** il territorio può essere suddiviso nelle seguenti tre classi:

- **Zone stabili:** riguardano quelle zone che, ad esclusione dello scuotimento, funzione dell'energia e della distanza dell'evento, non presentano effetti di alcuna natura. Trattasi di aree in cui il substrato roccioso, caratterizzato da velocità di propagazione delle onde di taglio $V_s > 800$ m/s, risulta affiorante o sub-affiorante (con spessori delle coperture minori di 3 m), con morfologia pianeggiante o poco inclinata (versanti con inclinazione inferiore a circa 15°). All'interno di queste aree non sono richiesti approfondimenti supplementari. Si evidenzia comunque che, in nessuna delle realtà studiate, si sono rilevate le condizioni suddette;
- **Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali:** all'interno di queste aree sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto della situazione litostratigrafica e morfologica locale. Raggruppano le zone dove sono presenti terreni di copertura, coltri di alterazione del substrato, substrato molto fratturato, o substrato caratterizzato da velocità di propagazione delle onde di taglio $V_s < 800$ m/s.
- **Zone suscettibili d'instabilità:** rientrano in questa categoria le aree che, oltre ad essere soggette ad amplificazioni del moto sismico, possono dar luogo a instabilità (aree di frana attiva, aree di frana quiescente, aree soggette a cedimenti differenziali e/o liquefazione, aree di faglia, ecc.). Per tali aree sono previsti approfondimenti di III° Livello.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento)

Comune di Tornolo (PR)

Ad ogni microzona, è stata associata una successione stratigrafica rappresentativa, ricostruita attraverso l'analisi dei dati forniti sia dalle indagini geognostiche preesistenti, che da quelle realizzate *ex-novo*.

Proprio la realizzazione delle nuove indagini, la successiva analisi dei dati stratigrafici, nonché l'adeguamento alle cartografie di analisi di supporto agli strumenti di pianificazione sovraordinata (ad es. Variante Carta del dissesto del *P.T.C.P.* 2016) hanno permesso di rivedere la tipologia e le perimetrazioni delle microzone individuate durante gli studi pregressi.

Riassumendo, all'interno delle Carte delle *MOPS* rappresentate alla scala 1:10.000 (elaborati **4.a - settore ovest** e **4.b - settore est**), sono state innanzitutto raffigurate le microzone omogenee in prospettiva sismica per le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, individuate su tutto il territorio comunale. Ciascuna nuova *MOPS* risulta contraddistinta da un proprio profilo stratigrafico tipo (Cfr. **Fig. 8**):

- **Zona 1:** Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido con alternanza di litotipi, stratificato ricoperto da una coltre di depositi eluvio-colluviali di spessore medio inferiore a 3,00 m.
- **Zona 2:** Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido con alternanza di litotipi, ricoperto da una coltre di depositi eluvio-colluviali di spessore medio inferiore a 3,00 m.
- **Zona 3:** Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido lapideo, ricoperto da una coltre di depositi eluvio-colluviali di spessore medio inferiore a 3,00 m.
- **Zona 4:** Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido, ricoperto da una coltre di depositi eluvio-colluviali e/o detrito di versante, a granulometria prevalentemente argillosa, di spessore medio pari a 5 m.
- **Zona 5:** Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido, ricoperto da una coltre di depositi alluvionali, morenici e detriti di falda a granulometria mista, prevalentemente ghiaiosa, di spessore medio pari a 5 m.
- **Zona 6:** Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido granulare cementato, stratificato ricoperto da una coltre di depositi eluvio-colluviali di spessore medio inferiore a 3,00 m.
- **Zona 7:** Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido granulare cementato, ricoperto da una coltre di depositi eluvio-colluviali di spessore medio inferiore a 3,00 m.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento)

Comune di Tornolo (PR)

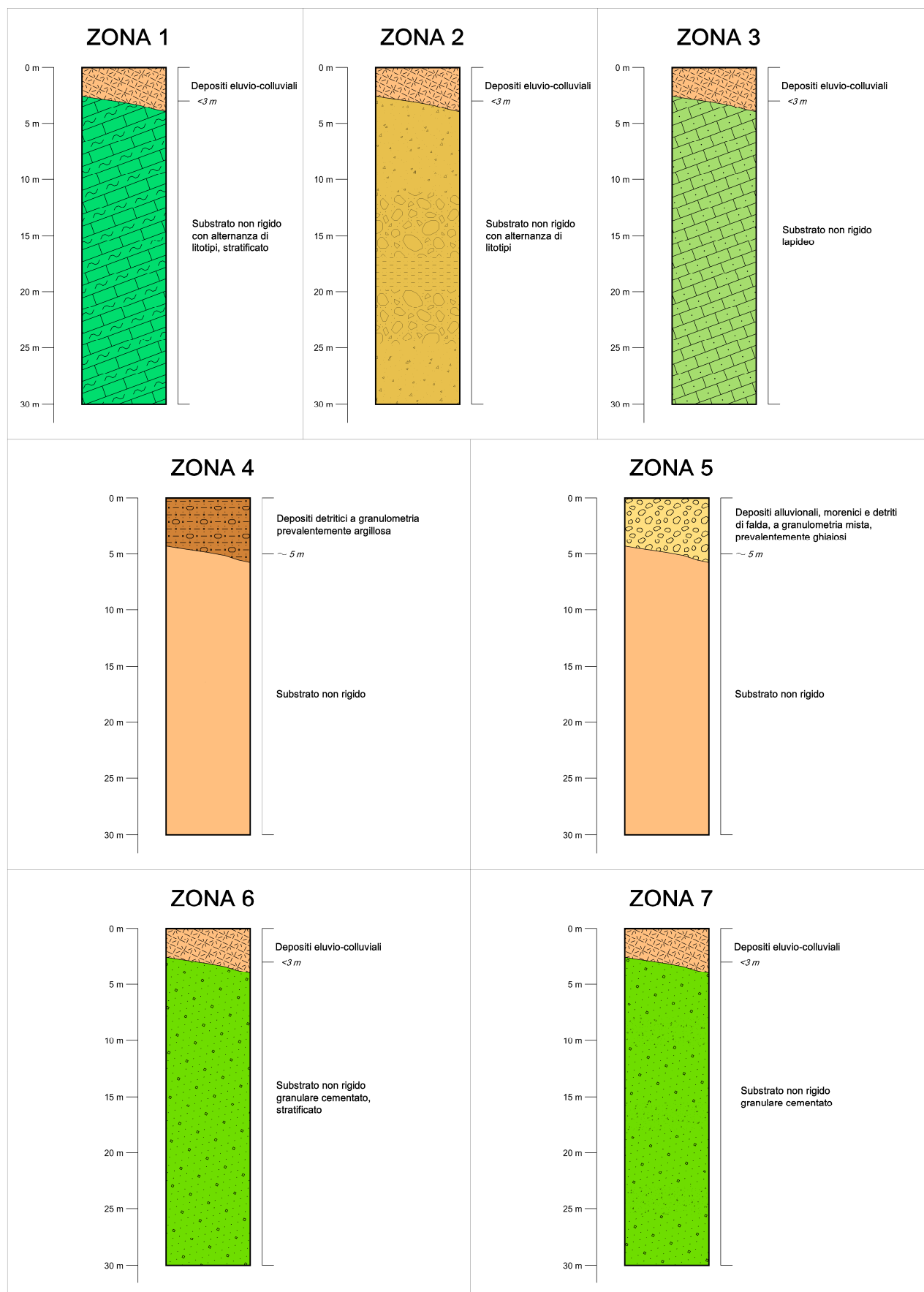


FIG. 8 – PROFILI STRATIGRAFICI RAPPRESENTATIVI DELLE ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento)

Comune di Tornolo (PR)

Riguardo la zonizzazione dei fenomeni gravitativi di versante, su gran parte del comune è stata mantenuta la grossolana suddivisione tra frane attive e quiescenti, con indicazione della tipologia di movimento tramite apposito codice, come previsto dai precedenti *standard versione 2.0*, ad esclusione degli ambiti di approfondimento di "*Tornolo Capoluogo*" e "*Tarsogno*", all'interno dei quali sono state individuate diverse zone di attenzione per instabilità, ciascuna definita da un proprio profilo stratigrafico tipo e numerate a partire dalla ultima microzona individuata nelle MOPS.

Nel dettaglio la quasi totalità dell'abitato di Tarsogno e alcune aree marginali del Capoluogo sono interessate da zone di attenzione per instabilità, per effetto della presenza di coperture detritiche di tipo franoso che si sviluppano su vaste aree. Nella maggior parte dei casi si individuano fenomeni di instabilità quiescenti e, in particolare, i cosiddetti movimenti gravitativi in massa (*DGPV*), ma non mancano corpi franosi di tipo attivo, anche di vaste dimensioni. Di seguito vengono brevemente descritte tutte le zone di attenzione per instabilità individuate all'interno degli ambiti "*Tornolo*" e "*Tarsogno*", ciascuna definita da un proprio profilo stratigrafico tipo (cfr. **Fig. 9**):

- **ZA_FR – Zona di attenzione per instabilità di versante – Zona 8**, Costituisce la riattivazione di parte di un corpo detritico di versante localizzato verso il margine orientale dell'abitato di Tornolo. E' caratterizzato da una successione stratigrafica costituita da un corpo detritico con spessori di circa 5 m di depositi di frana per scorrimento, attiva, formati da elementi litoidi eterometrici immersi in una matrice prevalentemente argilloso-limosa, poggianti su substrato non rigido, con alternanza di litotipi.
- **ZA_FR – Zona di attenzione per instabilità di versante – Zona 9**, Corrisponde a una piccola porzione di un più vasto movimento gravitativo situato al confine settentrionale di Tarsogno. E' caratterizzata da una successione stratigrafica costituita da uno spessore medio di circa 20 metri, di depositi di frana del tipo complesso-attiva, con elementi litoidi eterometrici immersi in una matrice prevalentemente argilloso-limosa, posti al di sopra di un substrato non rigido con alternanza di litotipi, stratificato.
- **ZA_FR – Zona di attenzione per instabilità di versante – Zona 10**, Si trova in adiacenza della precedente *Zona 5* e si differenzia da quest'ultima solo per un aumento dello spessore medio dei depositi franosi a 25 metri e per la tipologia del substrato che è del tipo non stratificato.
- **ZA_FR – Zona di attenzione per instabilità di versante – Zona 11**, Contraddistingue la porzione dei movimenti gravitativi in massa situati nell'ambito di Tarsogno, che interessano il substrato non rigido, stratificato e sono stati ricondotti a tipologie scorrimento-quiescente; sono costituiti da elementi litoidi eterometrici immersi in una matrice prevalentemente argilloso-limosa. Lo spessore dei depositi franosi, è stato stimato a 20 metri.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento)

Comune di Tornolo (PR)

- **ZA_FR – Zona di attenzione per instabilità di versante – Zona 12**, Si rileva su gran parte dell'abitato di Tarsogno. Si differenzia dalla precedente zona per la diminuzione dello spessore medio dei depositi franosi a 15 metri e per la tipologia del substrato che è del tipo non stratificato.
- **ZA_FR – Zona di attenzione per instabilità di versante – Zona 13**, Si localizza nel settore centro-settentrionale dell'abitato di Tarsogno ed è costituito da un corpo di frana, del tipo complesso-quiescente, di spessore medio pari a 15-20 metri, con elementi litoidi eterometrici immersi in una matrice prevalentemente argilloso-limosa, posto al di sopra di un substrato non rigido con alternanza di litotipi, stratificato.
- **ZA_FR – Zona di attenzione per instabilità di versante – Zona 14**, Si trova in adiacenza della Zona 9 e si differenzia da quest'ultima per la diminuzione dello spessore medio dei depositi franosi a 10 metri e per la tipologia del substrato che è del tipo non stratificato.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento)

Comune di Tornolo (PR)

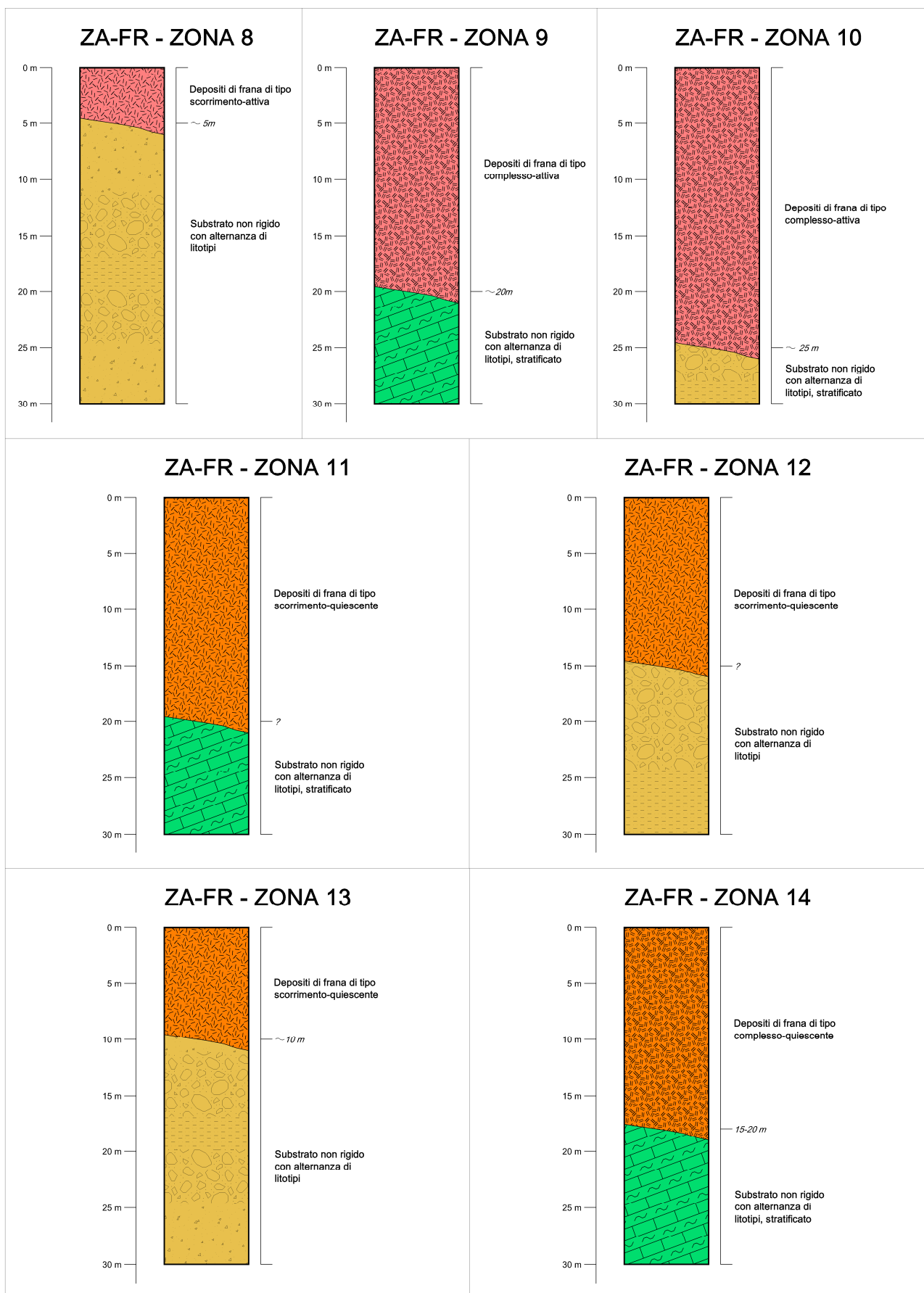


Fig. 9 – PROFILI STRATIGRAFICI RAPPRESENTATIVI DELLE ZONE DI ATTENZIONE PER INSTABILITÀ DI VERSANTE

4.5. Carta delle velocità delle onde di taglio S

In ottemperanza ai riferimenti tecnici citati nelle premesse, sono state redatte per le due aree oggetto di studio delle Carte delle velocità delle onde di taglio S (V_s).

Tale cartografia costituisce un aggiornamento, anche alla luce delle nuove indagini, di quella già redatta per gli studi di microzonazione di 2° livello, limitatamente ai due ambiti oggetto del presente studio.

In tali elaborati sono ubicati tutti i punti di misura, distinguendoli a seconda della tipologia di prova effettuata (prova tromografica, prova *Down-Hole*, *MASW*) e indicando il corrispondente valore di V_{sH} (in m/s), dove:

$$V_{sH} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

H = spessore totale (in metri) dei terreni di copertura o profondità del *bedrock*

h_i = spessore (in metri) dello strato *i*-esimo (fino al *bedrock*)

V_{s_i} = velocità (in m/s) dello strato *i*-esimo (fino al *bedrock*);

o di V_{s30} (sempre in m/s), dove:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

h_i = spessore (in metri) dello strato *i*-esimo (fino alla profondità di 30 m);

V_{s_i} = velocità (in m/s) dello strato *i*-esimo (fino alla profondità di 30 m).

Di seguito viene rappresentata una tabella contenente i valori di V_{sH} , V_{s30} e H , ottenuti dalle diverse indagini sismiche:

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento)

Comune di Tornolo (PR)

Ambito	Prova	V _{SH} (m/s)	H (m)	V _{S30} (m/s)
Tarsogno	034040L7MASW7	313	17	-
Tarsogno	034040L9MASW9*	307	15	-
Tarsogno	034040L10MASW10*	295	18	-
Tarsogno	034040L12MASW14*	247	10,8	-
Tarsogno	034040P97*HVSR172	235	8	-
Tarsogno	034040P79HVSR153	172	3,55	-
Tarsogno	034040P78HVSR152	156	4,1	-
Tarsogno	034040P77HVSR151	167	6,2	-
Tarsogno	034040P76HVSR150	163	6,8	-
Tarsogno	034040P75HVSR149	203	6,3	-
Tarsogno	034040P74HVSR148	182	4,2	-
Tarsogno	034040P73HVSR147	194	9	-
Tarsogno	034040P72HVSR146	266	11,8	-
Tarsogno	034040P71HVSR145	280	16,4	-
Tarsogno	034040P89DH164*	386	15	-
Tornolo	034040L8MASW8*	235	8	-
Tornolo	034040L11MASW12*	330	7	-
Tornolo	034040L13MASW15*	362	7	-
Tornolo	034040P100HVSR175*	362	7	-
Tornolo	034040P96HVSR171*	235	8	-
Tornolo	034040P70HVSR144	127	3	-
Tornolo	034040P69HVSR143	214	5,5	-
Tornolo	034040P68HVSR142	-	-	382
Tornolo	034040P67HVSR141	-	-	383
Tornolo	034040P66HVSR140	-	-	399
Tornolo	034040P66HVSR140	165	7,3	-
Tornolo	034040P64HVSR138	175	7,3	-
Tornolo	034040P63HVSR137	180	4,6	-
Tornolo	034040P62HVSR136	205	7,25	-

TAB. 3 – RIEPILOGO DEI RISULTATI DELLE PROVE SISMICHE UTILIZZATE PER LA DETERMINAZIONE DELLA VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO S, (*) PROVE REALIZZATE E REPERITE NELL'AMBITO DEL PRESENTE STUDIO

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento)

Comune di Tornolo (PR)

I risultati sopraindicati, una volta mediati e con alcune correzioni a favore di sicurezza, in aggiunta a quelli determinati negli studi pregressi per gli ambiti di "Frettolera", "Ravezza", "Santa Maria" e "Ponte Strambo", hanno consentito di ricavare i valori di V_{s30} o di V_{sH} da assumere per ciascuna MOPS, definita nel paragrafo 4.4, e che sono serviti per calcolare i fattori di amplificazione sismica nel successivo paragrafo 5.3.

Di seguito viene proposta una tabella riepilogativa di tali valori:

Zona	Livello di approfondimento	Vsh	Vs30
2001 (Substrato di tipo ALS)	2		600
2002 (Substrato di tipo AL)	2		500
2003 (Substrato di tipo LP)	2		600
2004 (Copertura di tipo Clec)	2	300	
2005 (Coperture di tipo Gpes, GCtf, GMmr e GPfd)	2	200	
2008 (Zona di attenzione per instabilità di versante)	2	200	
2009 (Zona di attenzione per instabilità di versante)	2	250	
2010 (Zona di attenzione per instabilità di versante)	2	300	
2011 (Zona di attenzione per instabilità di versante)	2	250	
2012 (Zona suscettibile d'instabilità di versante)	3	/	/
2013 (Zona suscettibile d'instabilità di versante)	3	/	/
2014 (Zona di attenzione per instabilità di versante)	2	200	

TAB. 4 - TABELLA RIEPILOGATIVA DELLE VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO S MEDIE PER CIASCUNA ZONA DEL COMUNE DI TORNOLO

Si evidenzia che non sono stati inseriti in tabella i valori di V_{s30} o V_{sH} per le microzone 2006 e 2007, dato che nessun poligono riconducibile a tali microzone ricade all'interno degli ambiti d'interesse.

5. APPROFONDIMENTI DI TERZO LIVELLO

5.1. Analisi di risposta sismica locale

5.1.1 Pericolosità sismica di base e degli eventi di riferimento

La sismicità storica del Comune di Tornolo è stata estrapolata dal *Database Macrosismico Italiano 2015 (DBMI15)*, redatto nell'ambito delle attività del *Tema Trasversale Coordinato INGV 5.1 "Banche dati e metodi macrosismici"*, in cui sono stati classificati e catalogati 122701 dati di intensità per 3212 terremoti. I dati derivano da 185 tra studi, *data-base*, rapporti e bollettini pubblicati sino al 2016. Il numero di terremoti supportati da dati di intensità è quasi raddoppiato rispetto alla precedente versione (*DBMI11*) da 1681 a 3212, pari rispettivamente al 53% e al 70% dei terremoti in catalogo) che fanno parte del "Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani" (*CPTI15*).

La sismicità del territorio comunale di Tornolo è riassunta graficamente nel diagramma di **Fig. 10.a**. Nella tabella a fianco (**Fig. 10.b**) sono elencate le osservazioni, contraddistinte da maggiore intensità al sito, disponibili per il territorio comunale. Oltre alla stessa intensità al sito (*I_s*), sono indicati l'anno, il mese, il giorno e l'ora in cui si è verificato, il numero dei dati puntuali d'intensità disponibili (*N_p*), l'intensità massima epicentrale in scala *MCS* (*I_o*), e la magnitudo momento (*M_w*).

Il primo riferimento per una stima della pericolosità sismica di base è rappresentato dalla "Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale" (*MPS04* - edizione aprile 2004). Successivamente tale Mappa è stata revisionata e quella definitiva è stata approvata con *OPCM n° 3519 del 28 aprile 2006 (all. 1b)* e pubblicata in *G.U. n° 108 del 11.05.2006*. In questa mappa sono indicati i valori di accelerazione di picco al suolo *a(g)* con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (per un Tempo di ritorno di 475 anni) riferita a suoli molto rigidi (*V_{s30} > 800 m/s, Cat. A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005*) per l'intero territorio nazionale. L'accelerazione orizzontale massima del suolo corrisponde a quella che in ambito internazionale viene chiamata *PGA*. A questo sono seguiti altri progetti, tra cui quello che ha portato alla consultazione interattiva della *MPS04* stessa.

Consultando il sito dell'*INGV* (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>) si può accedere ad un sistema che consente di visualizzare e interrogare mappe probabilistiche della pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa con diversi parametri dello scuotimento su una griglia regolare a passo 0.05°.

Le mappe riportano due distinti parametri dello scuotimento: *a(g)* (accelerazione orizzontale massima del suolo) e *Se(T)* (Spettro di risposta Elastico in accelerazione, in funzione del periodo *T*). Si è quindi provveduto a raffigurare le mappe relative al Comune di Tornolo (**Fig. 11**).

Dalla carta si evince che il territorio del Comune di Tornolo ricade in un areale in cui si possono verificare terremoti caratterizzati da un'accelerazione massima del suolo (*a_{max}*) pari a *0,175±0,200 g*. Tali valori sono coerenti con quanto riportato nell'*Allegato A4 della D.A.L. Regione Emilia-Romagna n° 112 del 2.5.2007*, che

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento)

Comune di Tornolo (PR)

attribuisce al Comune di Tornolo un valore di accelerazione di picco al suolo (cioè per $T = 0$, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g a_{refg} , con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) pari a **0,188 g**.

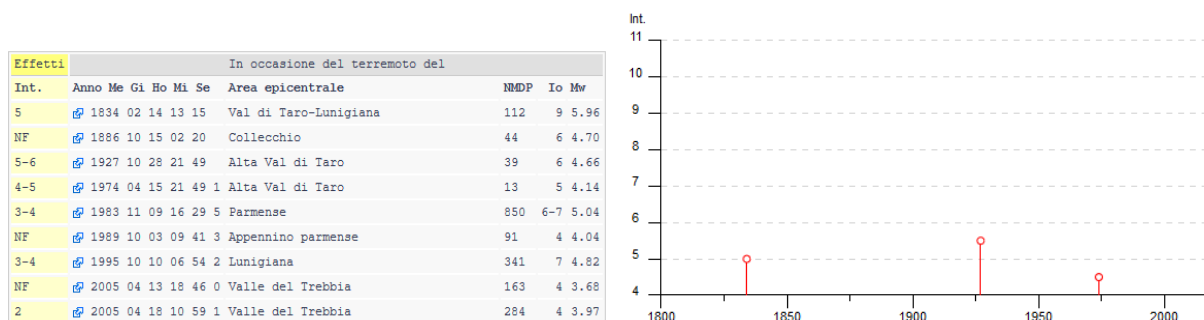


FIG. 10.A) DIAGRAMMA DELLA STORIA SISMICA DI TORNOLO, LIMITATAMENTE AI TERREMOTI CON INTENSITÀ EPICENTRALE UGUALE O SUPERIORE A 4-5; 10.B) ELENCO DEI TERREMOTI PIÙ FORTI RISENTITI NELL'AREA DI PARMA TRA IL 1800 E IL 2018. FONTE DATI: INGV DATABASE MACROSISMICO ITALIANO 2015 - [HTTP://EMIDIUS.MI.INGV.IT/DBMI15/](http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15/)

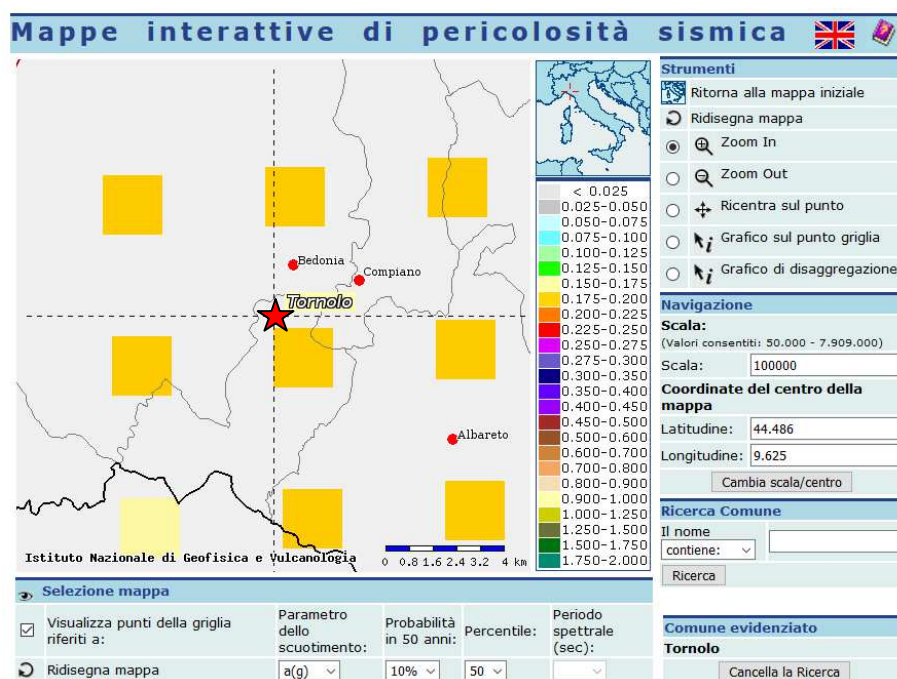


FIG. 11 - MAPPA DI PERICOLOSITÀ SISMICA PER IL TERRITORIO DEL COMUNE DI TORNOLO ESPRESSA IN TERMINI DI A(G) E PROBABILITÀ DI ECCEDENZA DEL 10% IN 50 ANNI (TR = 475 ANNI) (INGV); GLI ASSI SONO CENTRATI SUL SITO DI INTERESSE.

5.1.2 Spettro di risposta rappresentativo

Per la valutazione della pericolosità sismica di base, sono stati impiegati i risultati pubblicati dalla Regione Emilia Romagna (Cfr. *Allegato 4 - DAL 112/2007*), relativamente all'attribuzione a ciascun comune, di un valore di accelerazione orizzontale massima attesa su suolo rigido di riferimento, per terremoti con tempo di ritorno di 475 anni (equivalenti al 10% di probabilità di superamento in 50 anni). Tale valore, che deriva dalla media di tutti corrispondenti valori associati ai nodi del reticolo di riferimento con maglie di 0,05°, definiti dall'*Allegato B del D.M. 14/01/2008 recante "Norme Tecniche per le Costruzioni"*, equivale a **0,188 g** nel caso del Comune di Tornolo.

Partendo da tale valore, corrispondente all'accelerazione massima orizzontale attesa al sito su suolo rigido al periodo $T=0$, è stato possibile ricostruire lo spettro di risposta a probabilità uniforme, semplicemente moltiplicando **0,188 g** per i valori $S_e(g)/a_{ref}$ che definiscono l'equivalente spettro normalizzato previsto per l'Emilia Romagna (rappresentativo del moto sismico atteso per un periodo di ritorno di 475 anni, con smorzamento del 5%).

Lo spettro di risposta caratteristico del comune, riportato in **Fig. 12** è stato sovrapposto a quello normalizzato ricavato dal *D.M. 14/01/2008* per un suolo di tipo **A**.

Il grafico mostra un buon grado di correlazione tra i due spettri inoltre, si evidenzia come i valori di amplificazione massima si verificano per periodi (T) compresi tra 0,15 s e 0,30 s.

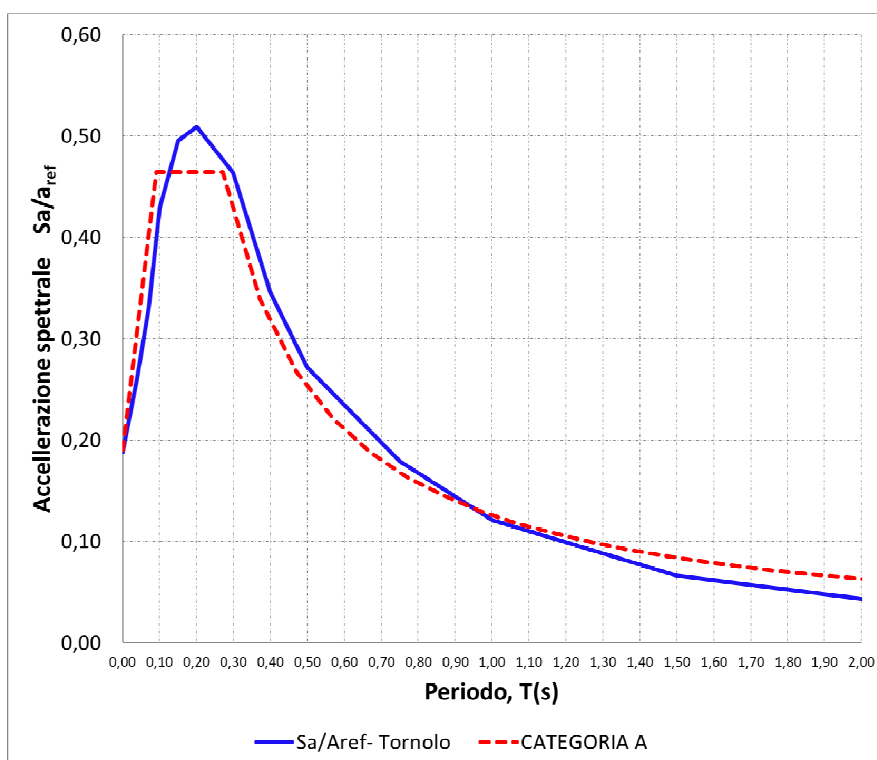


FIG. 12 – SPETTRO DI RISPOSTA NORMALIZZATO (D.A.L. 112/2007 - $T_R=475$ ANNI, SMORZAMENTO=5%) RAFFRONTATO A QUELLO DI CATEGORIA A (DA NTC 2008), PER IL COMUNE DI TORNOLO.

5.1.3 Selezione dei segnali sismici di riferimento

L'input sismico, rappresentativo del moto atteso sul sito di riferimento rigido affiorante utilizzato nelle analisi è rappresentato da n.3 "time history" dell'accelerazione, che sono state selezionate dalla banca dati accelerometrica "European Strong Motion Database" (http://www.isesd.hi.is/ESD_Local/frameset.htm, denominata anche come *ISESD*) attraverso una procedura che valuta la similarità tra una forma spettrale di riferimento (nel caso in esame questa forma spettrale corrisponde alla forma dello spettro di risposta isoprobabile con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni di **Fig. 12**) e la forma degli spettri di risposta dei segnali contenuti nella banca dati *ISESD*.

I segnali di riferimento sono stati normalizzati affinché la loro ampiezza massima assoluta fosse unitaria.

I files con i segnali di riferimento normalizzati sono stati scaricati dal sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna, tema "Sismica - Microzonazione Sismica".

Nello specifico trattasi di tre files:

- **000046xa.xy;**
- **000126xa.xy;**
- **000354xa.xy.**

Il nome dei files corrisponde al codice identificativo *ISESD* delle registrazioni accelerometriche.

Ciascun file contiene due colonne: la prima corrisponde al tempo, espresso in secondi, la seconda il valore di accelerazione normalizzata.

Gli accelerogrammi *000046xa.xy*, *000126xa.xy* e *000354xa.xy* sono stati inseriti nel software di elaborazione per il calcolo della Risposta Sismica Locale "**LSR 1D**" (Version 4.1.1 della STACEC), quindi sono stati opportunamente scalati, rispetto al valore della *PGA* al *bedrock* attesa in sito, considerando un substrato rigido affiorante (Cat. A) (Cfr. **Fig. 13**).

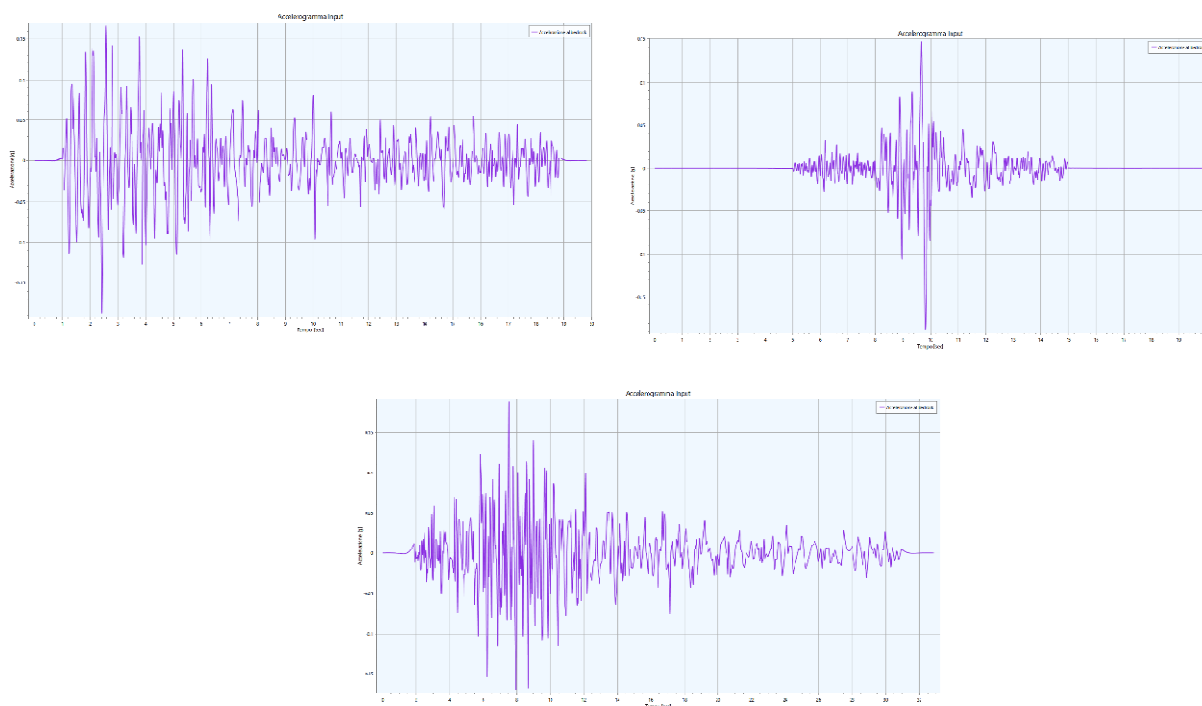
ACCELEROGRAMMI DI INPUT**SCALATI $ag/g = 0,188$** 

FIG. 13 - SERIE TEMPORALI ACQUISITE E RISCALATE IN FUNZIONE DELLA P.G.A. ATTESA AL *BEDROCK* SISMICO (SOTTOSUOLO DI CAT. A).

5.1.4 Modello stratigrafico e parametrizzazione sismica

Attraverso un'attenta analisi delle indagini geotecniche e sismiche di nuova realizzazione eseguite in sito (vedi Elaborati **7** e **8**), a cui si aggiungono le indagini pregresse consultabili nel *data-base* a corredo di questo studio, si è cercato di ricostruire un modello sismo-stratigrafico semplificato rappresentativo di ciascuna *MOPS* di interesse.

E' stata quindi calcolata la risposta dinamica monodimensionale (*1D*), optando per una analisi equivalente lineare (*EQL*), basata su un modello di propagazione lineare delle onde in cui le proprietà dinamiche del terreno, quali "Modulo di taglio *G*" e "Rapporto di smorzamento *D*", vengono fatti variare in funzione del livello deformativo.

Pertanto, a ciascuno strato, come definito nel modello, è stato attribuito un valore rappresentativo del peso di volume, delle *Vs* e del Coefficiente di *Poisson Ni*. Si è poi proceduto assegnando al medesimo strato una coppia di curve che definisce il comportamento non lineare del terreno in funzione di un aumento percentuale della deformazione di taglio:

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento)

Comune di Tornolo (PR)

- la curva di decadimento del Modulo di rigidezza al taglio G alle basse deformazioni, espresso come rapporto G/G_0 (Cfr. **Fig. 14.a**);
- la curva di variazione dello smorzamento D (Cfr. **Fig. 14b**).

Per i casi in esame sono state utilizzate curve presenti in letteratura, e ad integrazione di queste ne sono state estrapolate altre, attingendo al portale *WEB-GIS* <http://150.217.73.23/BancaDatiVEL/> sviluppato dalla Regione Toscana con la collaborazione tecnica del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze, nell'ambito del "Programma VEL" (*Valutazione Effetti Locali*). I risultati sperimentali contenuti nella banca dati *VEL* possono essere selezionati secondo numerosi criteri (geografico, per litologia, per formazione geologica, etc...) e direttamente tradotti in curve di decadimento scegliendo i parametri delle equazioni di *Yokota* che meglio approssimano i dati sperimentali.

Nel presente lavoro si è cercato di optare per quelle curve relative a campioni che presentavano maggiori affinità sia dal punto di vista stratigrafico sia da un punto di vista litologico con le formazioni geologiche caratterizzanti l'area di studio.

Così facendo è stato possibile valutare in maniera più accurata il comportamento deformativo dei terreni superficiali analizzati.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento)

Comune di Tornolo (PR)

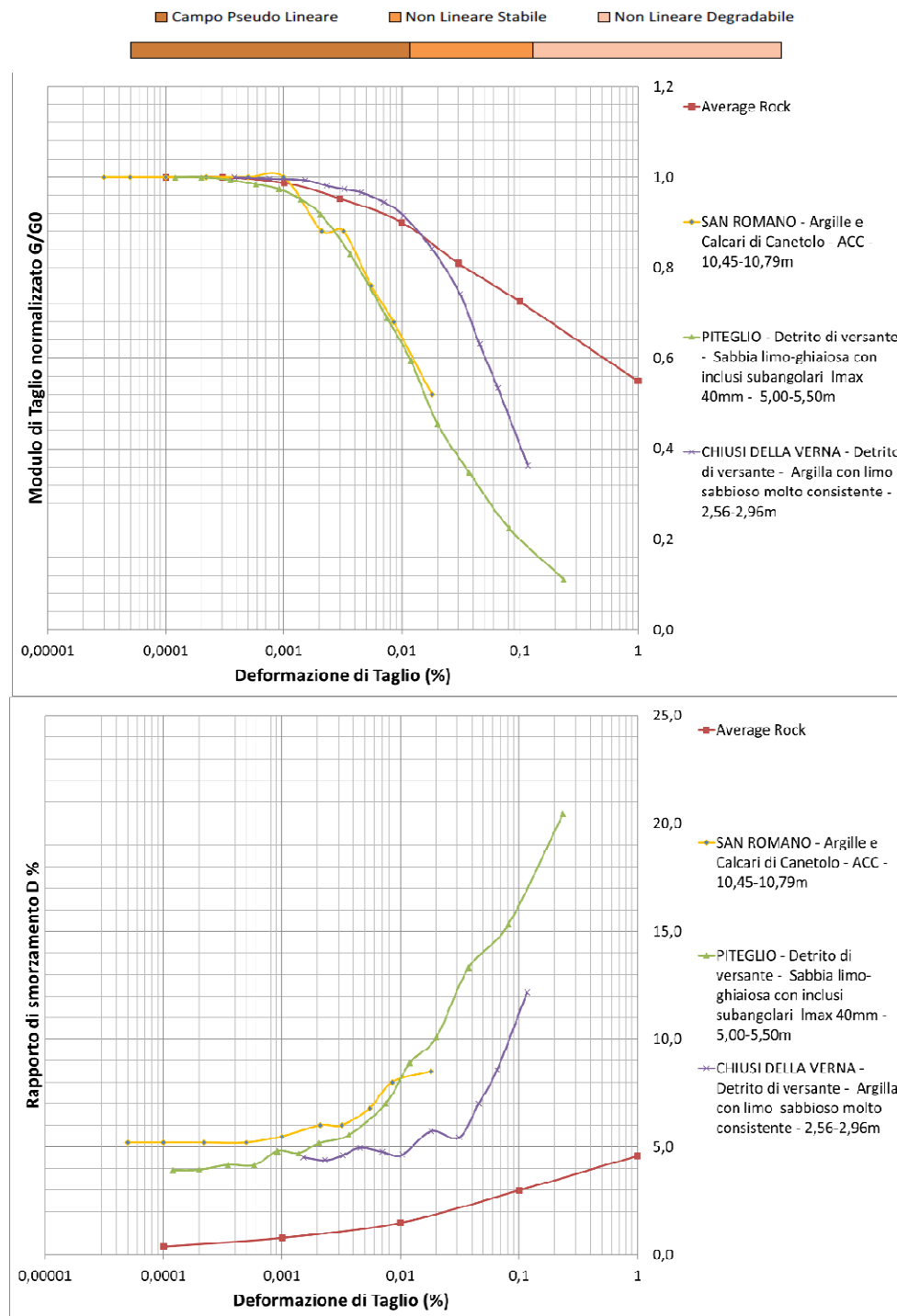


FIG. 14.A; 14.B - CURVE DI DECADIMENTO ESPRESSE COME RAPPORTO G/G_0 E CURVE DELLO SMORZAMENTO $D(\%)$ ENTRAMBE IN FUNZIONE DELLO SFORZO DI TAGLIO APPLICATO, ASSOCIATE AD OGNI SINGOLO STRATO CHE DEFINISCE IL MODELLO STRATIGRAFICO-SISMICO DI INPUT.

5.1.5 Grafici di output della RSL

A seguito della modellazione numerica e dell'ottenimento dei grafici di *output* dalla simulazione in **LSR 1D**, possono essere ricavate diverse informazioni, che permettono di descrivere in maniera dettagliata il comportamento sismico della colonna stratigrafica soprastante il *bedrock* di riferimento.

Sono state prese in considerazione soltanto alcune delle informazioni ricavate dallo studio di *RSL*, in particolare quelle che solitamente vengono richiesti in uno studio microzonazione sismica di terzo livello e che possono avere un impiego ai fini progettuali delle opere ingegneristiche.

1) Acceleration Response Spectrum - Spettri di risposta in accelerazione

Rappresenta l'elaborato fondamentale richiesto per i calcoli strutturali e in "**LSR 1D**" può essere calcolato sia in superficie che per una profondità di interesse.

Nei casi in esame (è stato calcolato per gli *SLV* a piano campagna, con un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente del 5%).

2) Housner Intensity - Intensità di Housner

L'intensità spettrale è definita come:

$$SI = \int_{T_1}^{T_2} PSV(T_0, \xi) dT_0$$

dove *PSV* è lo pseudospettro di risposta in velocità, T_0 è il periodo proprio e ξ è lo smorzamento.

Questo parametro di severità del moto sismico è correlato al danno potenziale atteso per effetto del terremoto in oggetto, dal momento che la maggior parte delle strutture hanno un periodo fondamentale di vibrazione nell'intervallo compreso tra 0,1 e 2,5 secondi.

Si ritiene opportuno valutare un duplice intervallo di integrazione: il primo tra 0,1 e 0,5 secondi, significativo per le strutture più rigide, a basso periodo proprio, il secondo per quelle più flessibili, ad elevato periodo proprio.

3) P.G.A. Profile - Peak Ground Acceleration Profile

Definisce la massima accelerazione per ogni profondità, in unità di gravità. Consente di valutare l'entità dell'amplificazione locale, intesa come rapporto fra il valore della *P.G.A.* in superficie e il valore della *P.G.A.* al *bedrock* (sottosuolo di categoria A). Gli esiti mostrano le variazioni fra le risposte del modello di sottosuolo in relazione ai diversi *input* sismici assegnati.

5.1.6 Risultati ottenuti dalla modellazione

Nel presente studio sono stati elaborati i modelli di *input* riguardanti le seguenti microzone:

- A. Zona 12;
- B. Zona 13.

Di seguito si riportano le risultanze per ogni modello sismico-stratigrafico considerato.

Zona 12

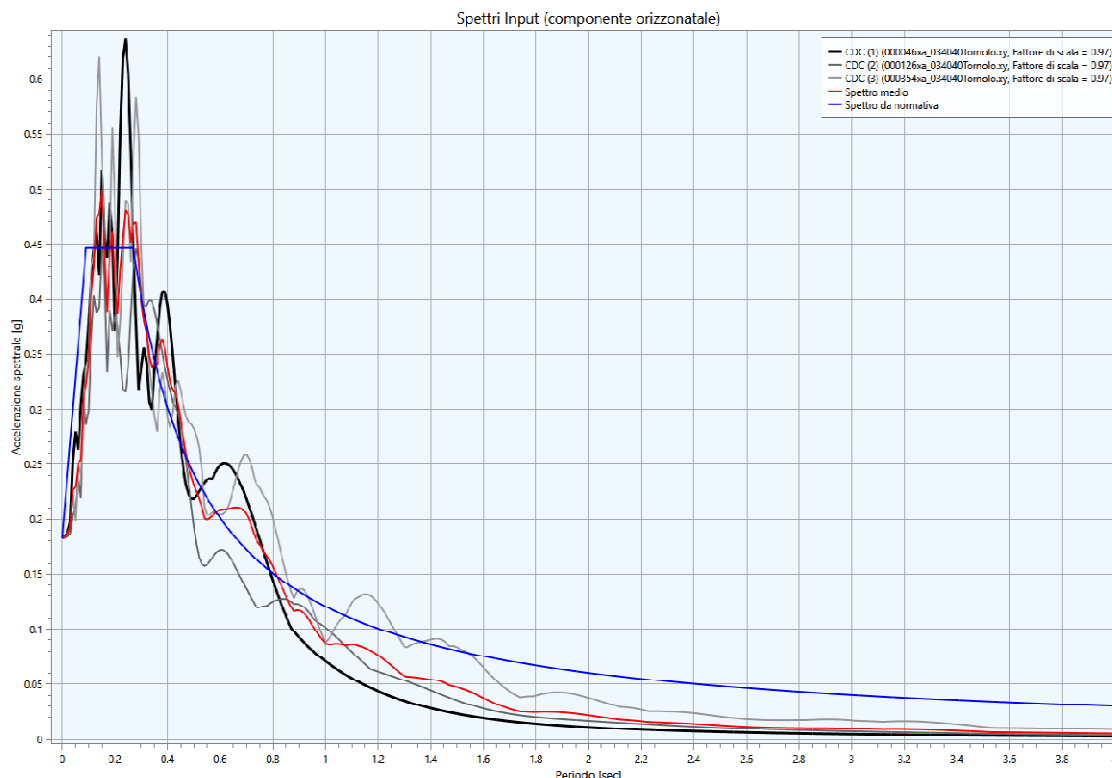
Le indagini di riferimento utilizzate per la ricostruzione del modello geotecnico-sismico semplificato e identificate secondo il codice di archiviazione attribuito nel *data-base* a corredo dello studio, rappresentativo della *MOPS* di interesse, sono le seguenti:

- Indagine n° 034040P89SS163; 034040P89DH164; 034040P90HVSR165; 034040P91HVSR166.

Nella **Fig. 15** sono rappresentati i dati di ingresso al software **LSR 1D** impiegato per le elaborazioni di III° Livello, mentre in **Fig. 16** vengono raffigurati gli spettri di *input* adottati.

Strato	Spessore [m]	ρ [Kg/m ³]	Vs [m/s]	Ni	Modello geotecnico	Colore
1	6.00	2050.00	250.00	0.49	SAN ROMANO_ACC_46027_S3CR2	
2	9.00	2110.00	355.00	0.47	SAN ROMANO_ACC_46027_S3CR2_A	
3	11.00	2270.00	485.00	0.48	Average Rock	
4	4.00	2320.00	590.00	0.48	Average Rock	
5	5.00	2370.00	720.00	0.48	Average Rock	

Fig. 15 - SCHERMATA DI INPUT TRATTE DAL SOFTWARE "LSR 1D", DOVE VIENE DEFINITO IL MODELLO SISMO-STRATIGRAFICO DEL SITO DI INTERESSE: ZONA 12

SPETTRI DI INPUT**FIG. 16 - SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICA AL BEDROCK, CALCOLATI PER SLV CON SMORZAMENTO DEL 5%.**

Di seguito vengono rappresentati tutti gli spettri ottenuti per ciascun fattore amplificazione analizzato.

1A) Acceleration Response Spectrum - Spettri di risposta in accelerazione

Sulla base delle indagini geofisiche effettuate, si è calcolato un valore di V_{s30} pari **430 m/s**, caratteristico di un terreno di **“Categoria B”**. Osservando in dettaglio il grafico di **Fig. 17** si può notare come il valore dello spettro medio si vada a collocare al di sopra di quello semplificato di **Categoria B**; pertanto i dati emersi dallo studio di *RSL* risultano leggermente più cautelativi. Lo spettro medio è stato poi adattato alla tipica forma spettrale semplificata, utilizzando come riferimento i valori della *“media”*.

Si rammenta che per il sito di interesse, il valore di ag_{max} su sottosuolo rigido (*P.G.A.0*) per gli SLV è di **0,183 g**.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento)

Comune di Tornolo (PR)

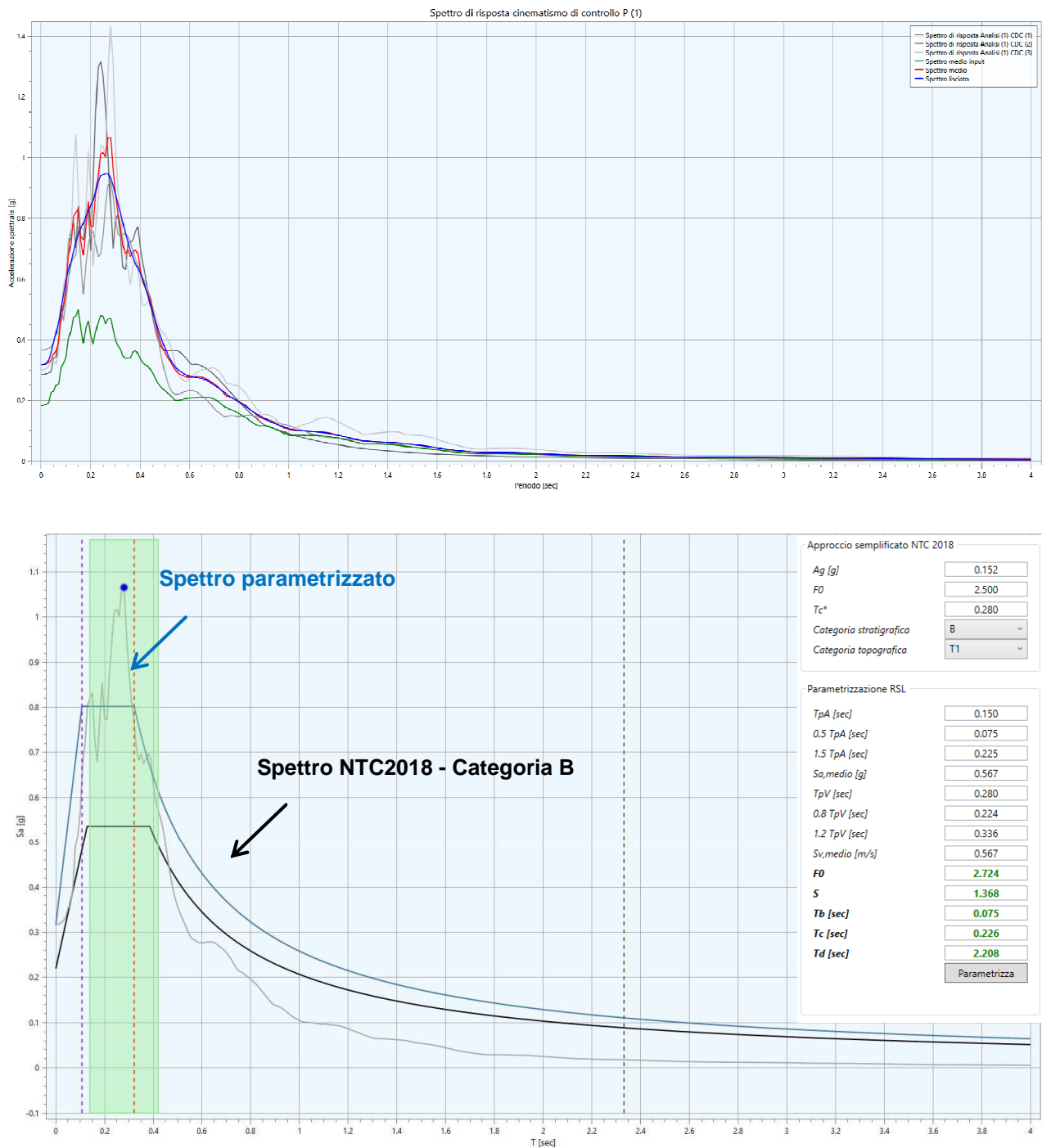


FIG. 17 - SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICA IN SUPERFICIE, CALCOLATI PER SLV CON SMORZAMENTO DEL 5%.

SULLA DESTRA SONO INDICATI I VALORI RAPPRESENTATIVI DELLO SPETTRO MEDIO PARAMETRIZZATO SECONDO NORMATIVA (LINEA BLU), CONSIDERANDO UNO SMORZAMENTO DEL 5%; LO SPETTRO RICAVATO CON APPROCCIO SEMPLIFICATO, CHE FA RIFERIMENTO ALLA "CATEGORIA DI SOTTOSUOLO SISMICO" (CATEGORIA B) DETERMINATA SULLA BASE DELLE INDAGINI GEOFISICHE IN SITO, È INVECE RAPPRESENTATO CON LA LINEA NERA.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento)

Comune di Tornolo (PR)

2A) Housner Intensity – Intensità di Housner

Nei due grafici raffigurati di seguito vengono rappresentati gli spettri relativi all'intensità di Housner negli intervalli $0,1 < SI < 0,5$ e $0,5 < SI < 1,0$.

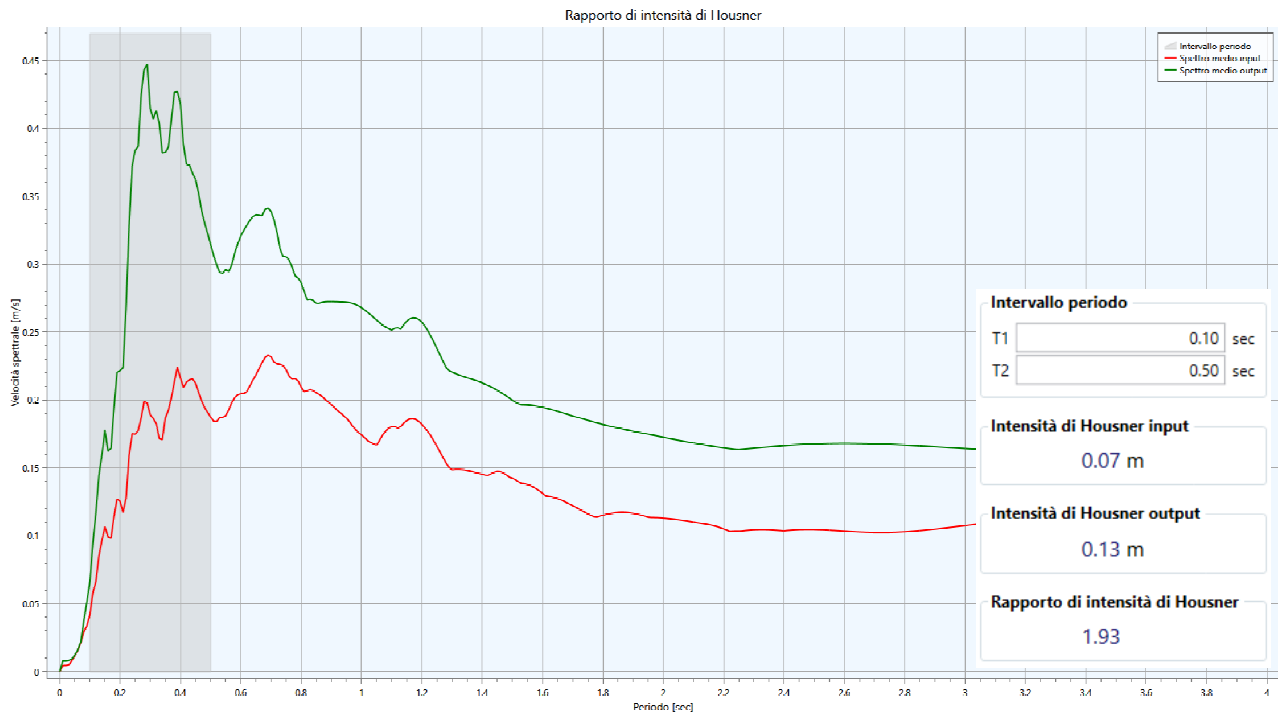


FIG. 18 - INTENSITÀ DI HousNER NELL'INTERVALLO $0,1 < SI < 0,5$.

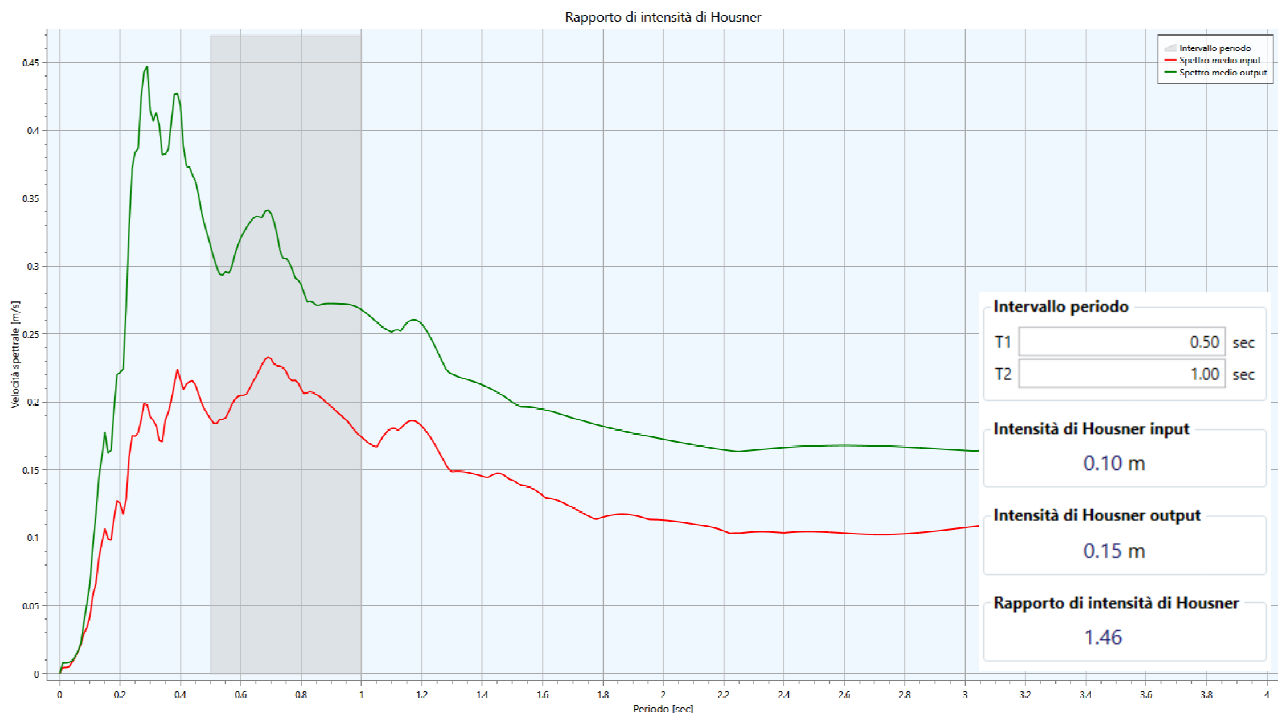


FIG. 19 - INTENSITÀ DI HousNER NELL'INTERVALLO $0,5 < SI < 1,0$.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento)

Comune di Tornolo (PR)

3A) P.G.A. Profile - Peak Ground Acceleration Profil

Nella **Fig. 20** viene rappresentata la massima accelerazione per ogni profondità, in unità di gravità (rapporto fra il valore della P.G.A. in superficie e il valore della P.G.A.0 al *bedrock*).

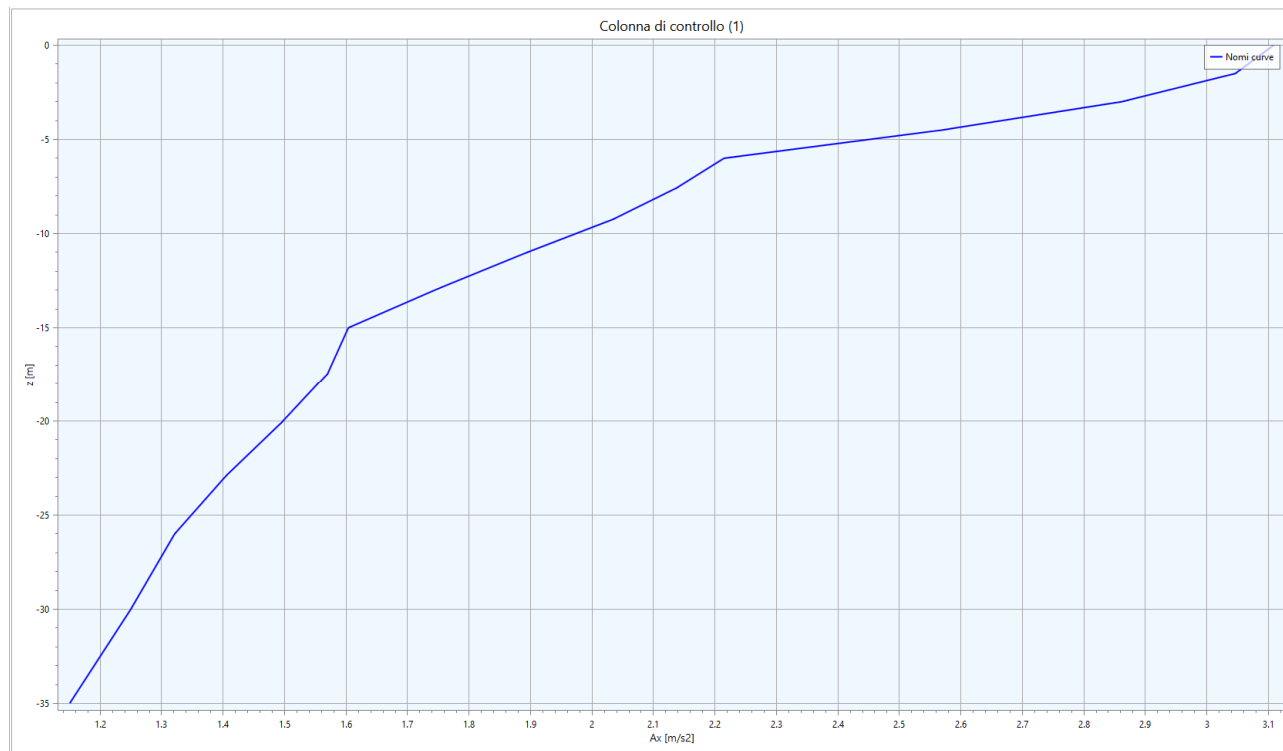


FIG. 20 - P.G.A. PROFILE: SI PUÒ NOTARE UNA MAGGIORE INCIDENZA DEI FENOMENI DI AMPLIFICAZIONE A PARTIRE DAGLI ORIZZONTI PIÙ SUPERFICIALI AVENTI VS INFERIORE (DA 0 A 15M).

Nella tabella sottostante vengono riassunti i valori dei F.A. determinati con l'analisi di RSL di III° livello:

Zona 12	
Fattori di amplificazione	RSL
F.A. P.G.A.	1,73
F.A. Is (0.1s < T ₀ < 0.5s)	1,93
F.A. Is (0.5s < T ₀ < 1.0s)	1,46

TAB. 5 – TABELLA RIASSUNTIVA DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE DELLA "ZONA 12"

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento)

Comune di Tornolo (PR)

Zona 13

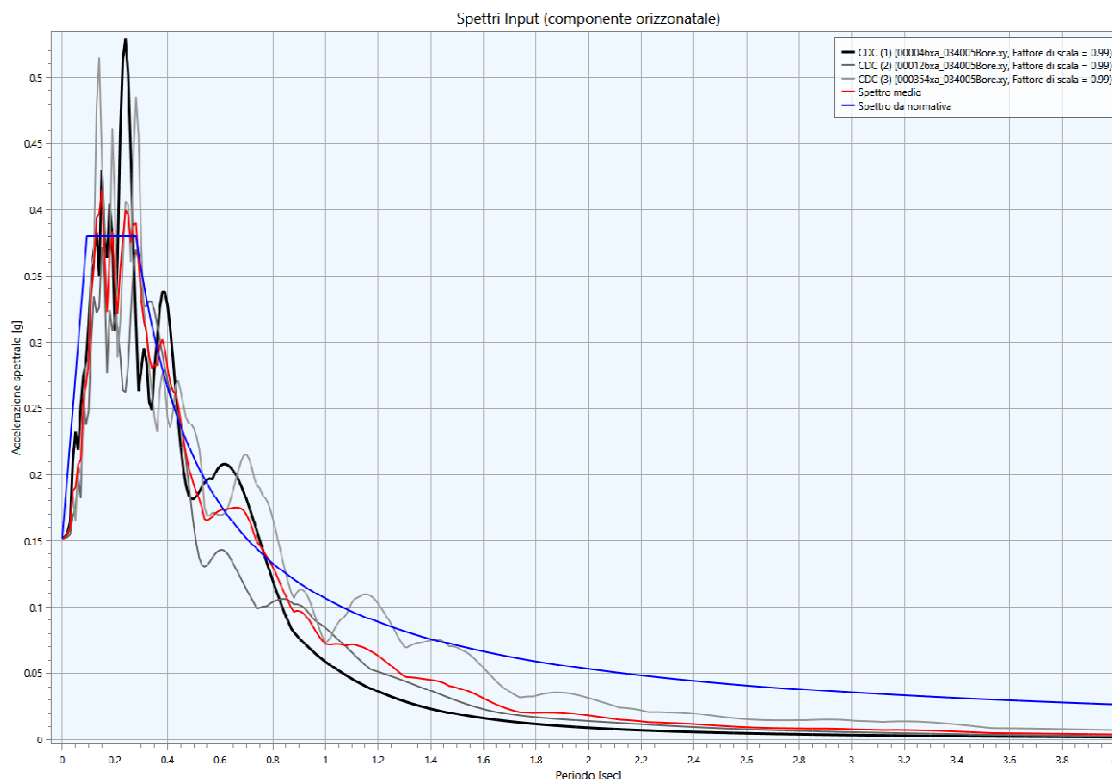
Nel caso in esame sono state analizzate ed elaborate le seguenti indagini:

- Indagine n° 034040L10MASW10; 034040L10SR11; 034005P71HVSR145.

Nella **Fig. 21** sono rappresentati i dati di ingresso al software **LSR 1D** impiegato per le elaborazioni di III° Livello, mentre in **Fig. 22** vengono raffigurati gli spettri di *input* adottati.

Strato	Spessore [m]	ρ [Kg/m ³]	Vs [m/s]	Ni	Modello geotecnico	Colore
1 Strato (1)	0.50	1690.00	90.00	0.40	CHIUSI DELLA VERNA_51015_S4S	[Yellow]
2 Strato (2)	2.50	1880.00	230.00	0.35	CHIUSI DELLA VERNA_51015_S4SH	[Light Orange]
3 Strato (3)	4.00	1950.00	310.00	0.35	CHIUSI DELLA VERNA_51015_S4SH	[Light Orange]
4 Strato (4)	5.00	1970.00	340.00	0.35	PITEGLIO_47015_S1C11_Detrito di v	[Light Orange]
5 Strato (5)	6.00	1980.00	360.00	0.35	PITEGLIO_47015_S1C11_Detrito di v	[Light Orange]
6 Strato (6)	4.00	2050.00	550.00	0.35	Average Rock	[Yellow]
7 Strato (7)	10.00	2100.00	610.00	0.30	Average Rock	[Yellow]
8 Strato (8)	10.00	2150.00	700.00	0.20	Average Rock	[Yellow]

FIG. 21 - SCHERMATA DI INPUT TRATTE DAL SOFTWARE "LSR 1D", DOVE VIENE DEFINITO IL MODELLO SISMO-STRATIGRAFICO DEL SITO DI INTERESSE: ZONA 13.

SPETTRI DI INPUT**FIG. 22 - SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICA AL BEDROCK, CALCOLATI PER SLV CON SMORZAMENTO DEL 5%.****1B) Acceleration Response Spectrum - Spettri di risposta in accelerazione**

Sulla base delle indagini geofisiche effettuate, è stato calcolato un valore di V_{s30} di **370 m/s**, per il quale viene attribuita ai terreni in esame la **“Categoria B”**. Osservando in dettaglio il grafico (Cfr. **Fig. 23**) si può notare come il valore dello spettro medio si vada a collocare al di sopra di quello semplificato di **categoria B**; pertanto i dati emersi dallo studio di *RSL* risultano leggermente più cautelativi. Lo spettro medio è stato poi adattato alla tipica forma spettrale semplificata, utilizzando come riferimento i valori della *“media”*. Si rammenta che per il sito di interesse, il valore di ag_{max} su sottosuolo rigido (*P.G.A.0*) per gli *SLV* è di **0,184 g**.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento)

Comune di Tornolo (PR)

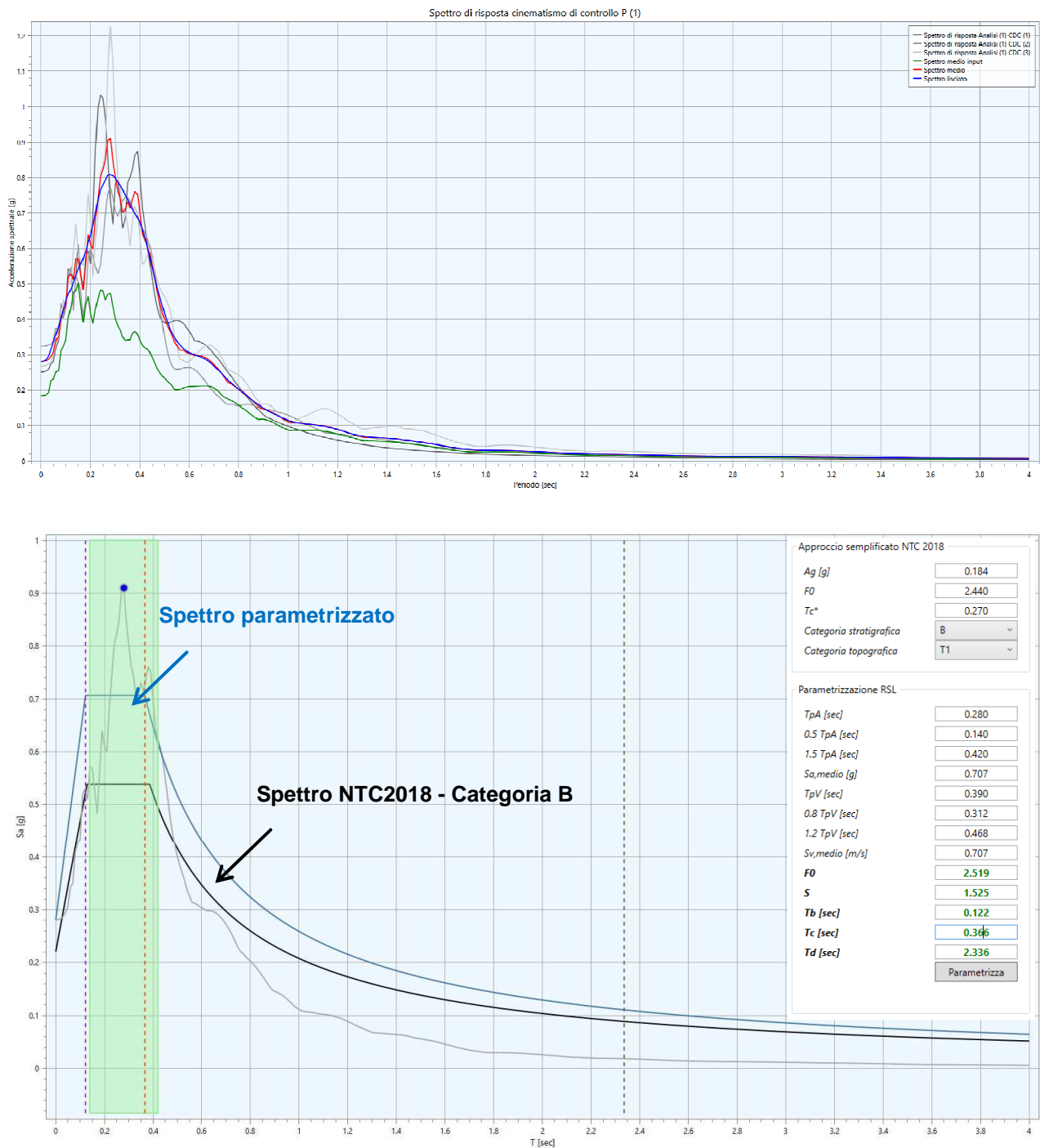


FIG. 23 - SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICA IN SUPERFICIE, CALCOLATI PER SLV CON SMORZAMENTO DEL 5%. SULLA DESTRA SONO INDICATI I VALORI RAPPRESENTATIVI DELLO SPETTRO MEDIO PARAMETRIZZATO SECONDO NORMATIVA (LINEA BLU), CONSIDERANDO UNO SMORZAMENTO DEL 5%; LO SPETTRO RICAVATO CON APPROCCIO SEMPLIFICATO, CHE FA RIFERIMENTO ALLA "CATEGORIA DI SOTTOSUOLO SISMICO" (CATEGORIA B) DETERMINATA SULLA BASE DELLE INDAGINI GEOFISICHE IN SITO, È INVECE RAPPRESENTATO CON LA LINEA NERA.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento)

Comune di Tornolo (PR)

2B) Housner Intensity – Intensità di Housner

Nei due grafici raffigurati di seguito vengono rappresentati gli spettri relativi all'intensità di *Housner* negli intervalli $0,1 < SI < 0,5$ e $0,5 < SI < 1,0$.

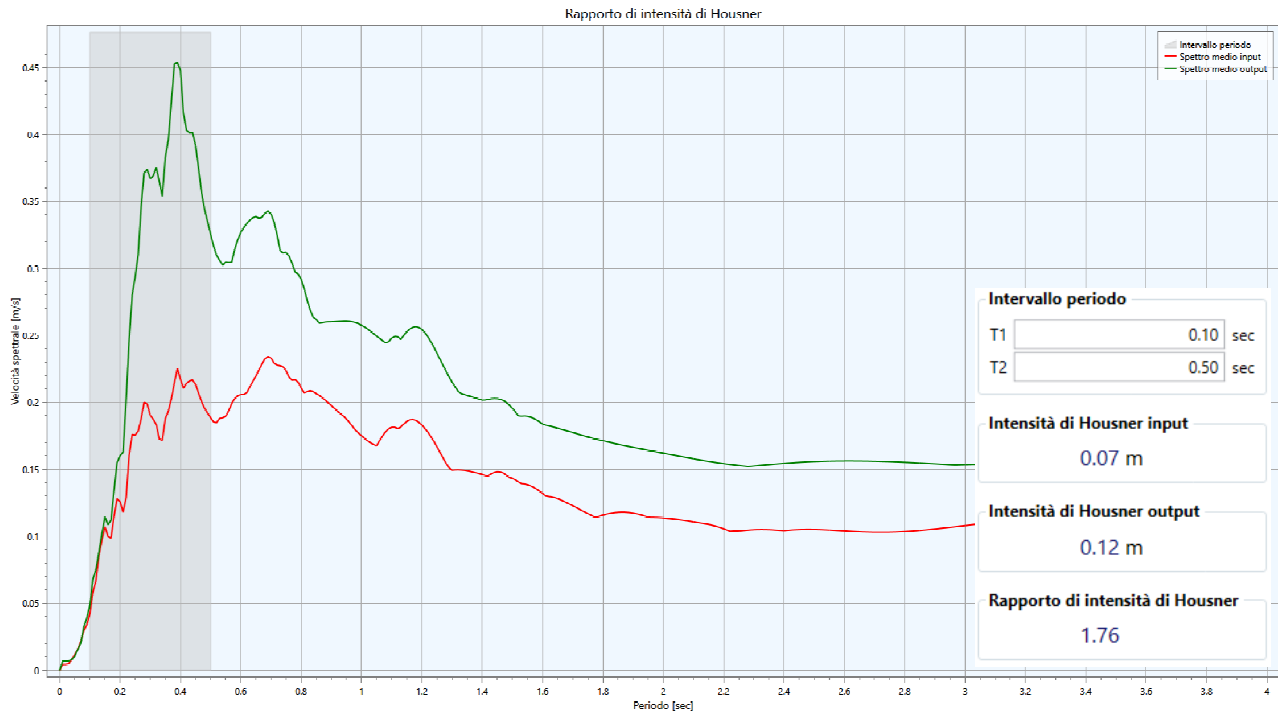


FIG. 24 - INTENSITÀ DI *HOUSNER* NELL'INTERVALLO $0,1 < SI < 0,5$.

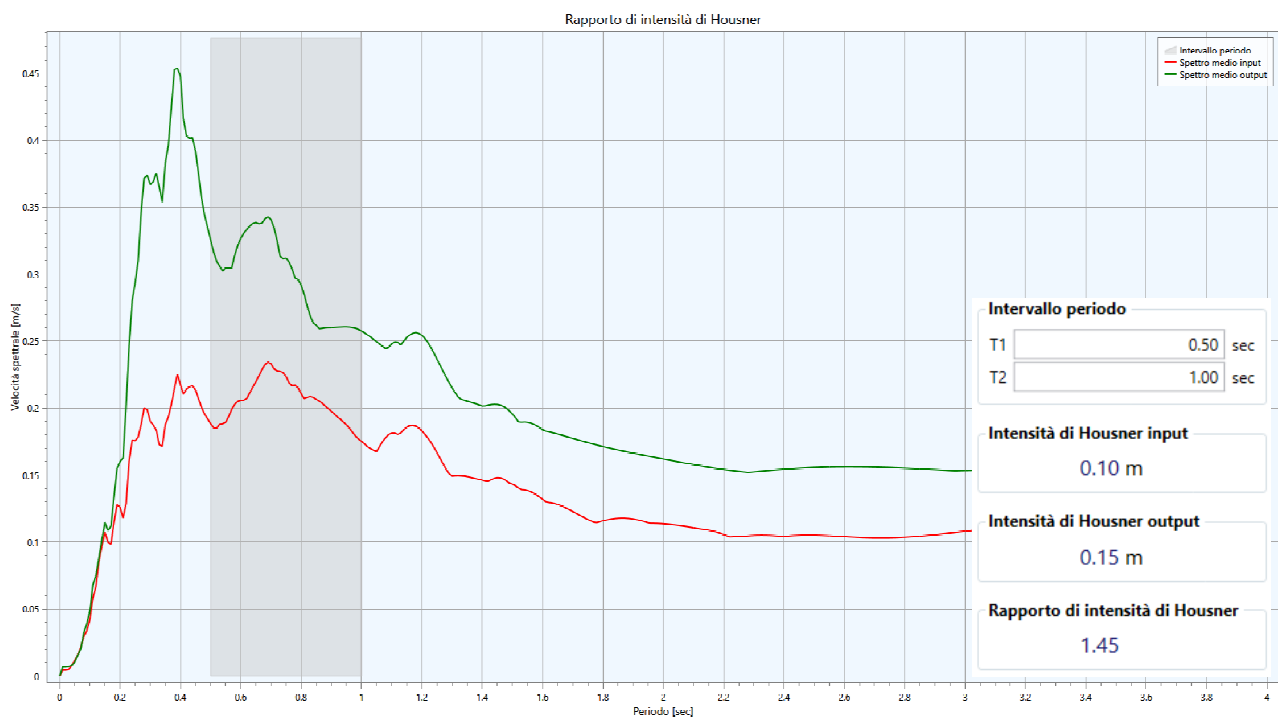


FIG. 25 - INTENSITÀ DI *HOUSNER* NELL'INTERVALLO $0,5 < SI < 1,0$.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento)

Comune di Tornolo (PR)

3B) P.G.A. Profile - Peak Ground Acceleration Profile

Nella **Fig. 26** viene rappresentata la massima accelerazione per ogni profondità, in unità di gravità (rapporto fra il valore della P.G.A. in superficie e il valore della P.G.A.0 al *bedrock*).

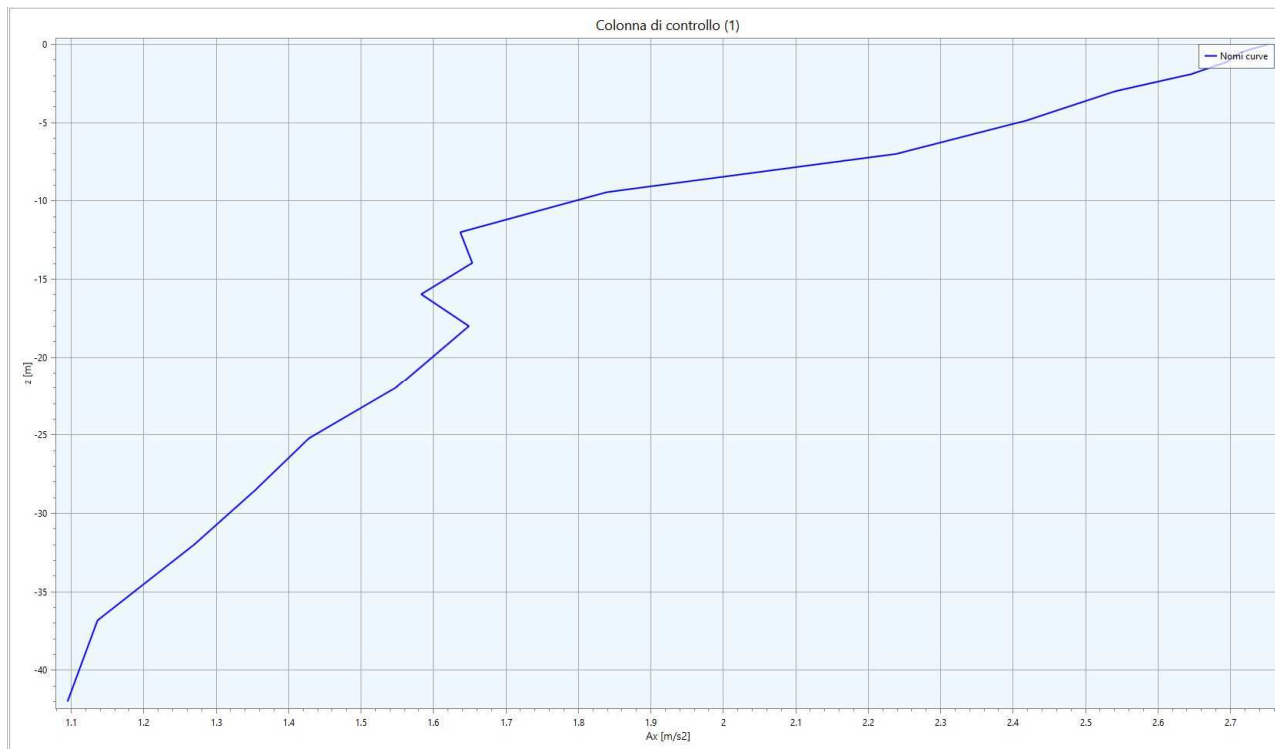


FIG. 26 - P.G.A. PROFILE: SI PUÒ NOTARE UNA MAGGIORE INCIDENZA DEI FENOMENI DI AMPLIFICAZIONE A PARTIRE DAGLI ORIZZONTI PIÙ SUPERFICIALI AVENTI VS INFERIORE (DA 0 A 12M).

Nella tabella sottostante vengono riassunti i valori dei F.A. determinati con l'analisi di RSL di III° livello:

Zona 13	
Fattori di amplificazione	RSL
F.A. P.G.A.	1,52
F.A. Is (0.1s < T ₀ < 0.5s)	1,76
F.A. Is (0.5s < T ₀ < 1.0s)	1,45

TAB. 6 – TABELLA RIASSUNTIVA DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE DELLA "ZONA 13"

5.2. Verifica di stabilità

I due ambiti di studio presentano da un punto di vista dell'impronta gravitativa situazioni diverse. L'ambito di "Tornolo Capoluogo" si posiziona su di un dosso morfologico, con rocce del substrato sub-affioranti e processi franosi limitati alle pendici inferiori del rilievo, senza che si evidenzino problematiche di stabilità per le infrastrutture e gli insediamenti residenziali o pubblici. Al contrario, l'ambito "Tarsogno" è interessato da un complesso ed articolato sistema di fenomeni di massa, estremamente ampi e coinvolgenti l'intero versante, costituiti essenzialmente da scivolamenti in massa di tipo planare e/o rotazionale.

Le dimensioni e la tipologia dei fenomeni presenti, la loro complessa sovrapposizione e la scarsa conoscenza degli spessori e delle caratteristiche geotecniche dei materiali costituenti tali corpi detritici, ha consentito solo in alcuni casi di impostare verifiche di stabilità dei versanti attendibili. Allo stesso modo, non è stato possibile in tali condizioni effettuare il calcolo della stima degli spostamenti del corpo di frana in condizioni dinamiche.

Per tali ragioni si è scelto quindi di limitare la verifica di stabilità ad una frana di tipo complesso, posta a valle del santuario e coinvolgente l'abitato della Villa, sulla quale, pur non avendo particolari e esaurienti informazioni, si è comunque potuto valutare gli spessori e l'andamento delle onde S e P con una prova tomografica *HVSR* (codice 034040P71) e una *MASW* accoppiata ad una sismica a rifrazione (codice 034040L10), realizzata quest'ultima a corredo del presente studio, proprio per poter caratterizzare meglio i rapporti stratigrafici e gli spessori del corpo detritico.

Su quest'area, oltre all'analisi di riposta sismica locale illustrata nel paragrafo precedente, è stata eseguita analisi di stabilità di versante come di seguito spiegato.

5.2.1 Metodo di Verifica

La valutazione dei fattori di sicurezza alla stabilità è stata condotta mediante il programma di calcolo **SLOPE** della **GEOSTRU**. In particolare, in questa sede si è fatto riferimento al metodo di *Jambu*, che prevede l'utilizzo di superfici di scivolamento di forma qualsiasi.

Il metodo di *Jambu* è un semplice, ma accurato, metodo per l'analisi di stabilità dei pendii, basato sul principio dell'equilibrio limite e delle strisce, pertanto viene considerato l'equilibrio di una potenziale massa di terreno in scivolamento suddivisa in n strisce verticali di spessore sufficientemente piccolo da ritenere ammissibile l'assunzione che lo sforzo normale N_i agisce nel punto medio della base della striscia.

Le equazioni da prendere in considerazione sono:

- L'equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale del singolo concio;
- L'equazione di equilibrio alla traslazione verticale del singolo concio;

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento)

Comune di Tornolo (PR)

- L'equazione di equilibrio dei momenti.

Il fattore di sicurezza risulta calcolato dalla seguente formula:

$$F = \frac{\sum \{c_i \times b + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec^2 \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\sum W_i \times \tan \alpha_i}$$

in cui i diversi parametri assumono i significati descritti in **Fig. 27**.

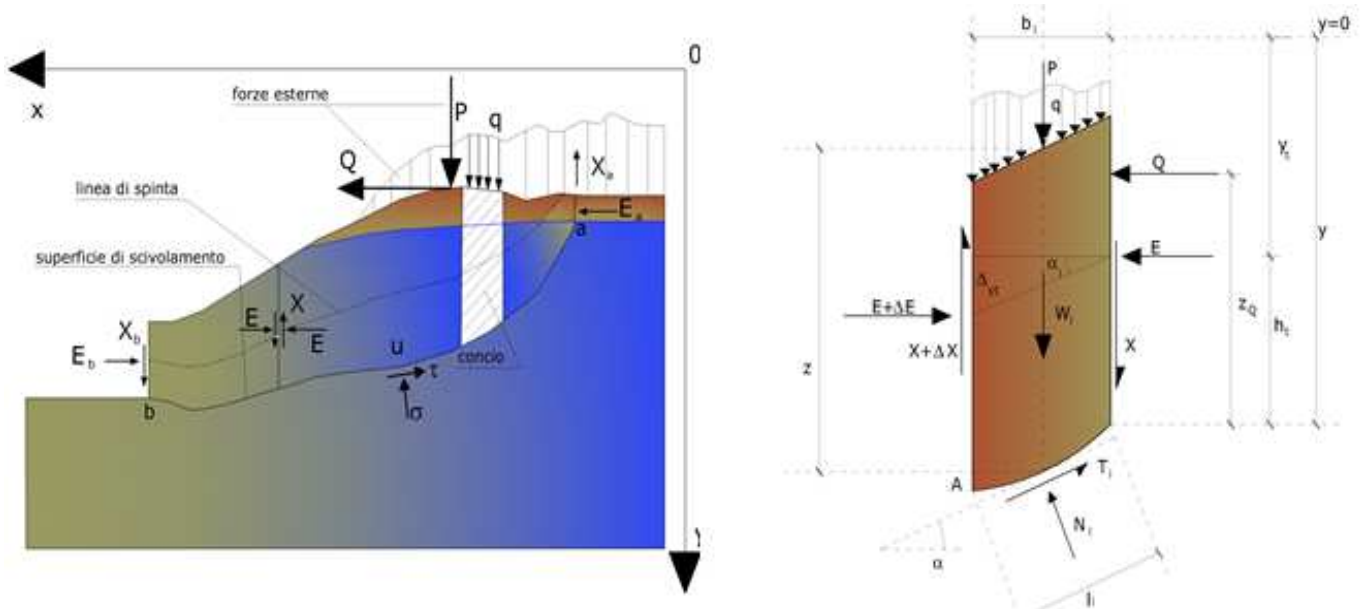


FIG. 27 - AZIONI SUL CONCIO I-ESIMO SECONDO LE IPOTESI DI JANBU E RAPPRESENTAZIONE D'INSIEME DELL'AMMASSO

Il metodo di *Janbu*, inoltre, introduce un metodo per la correzione del fattore di sicurezza in funzione della forma della frana e dei parametri geotecnici:

$$F_{\text{corretto}} = f_0 \times F$$

dove f_0 è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici (Cfr. **Fig. 28**). Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati, come quello che caratterizza l'area di interesse.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento)

Comune di Tornolo (PR)

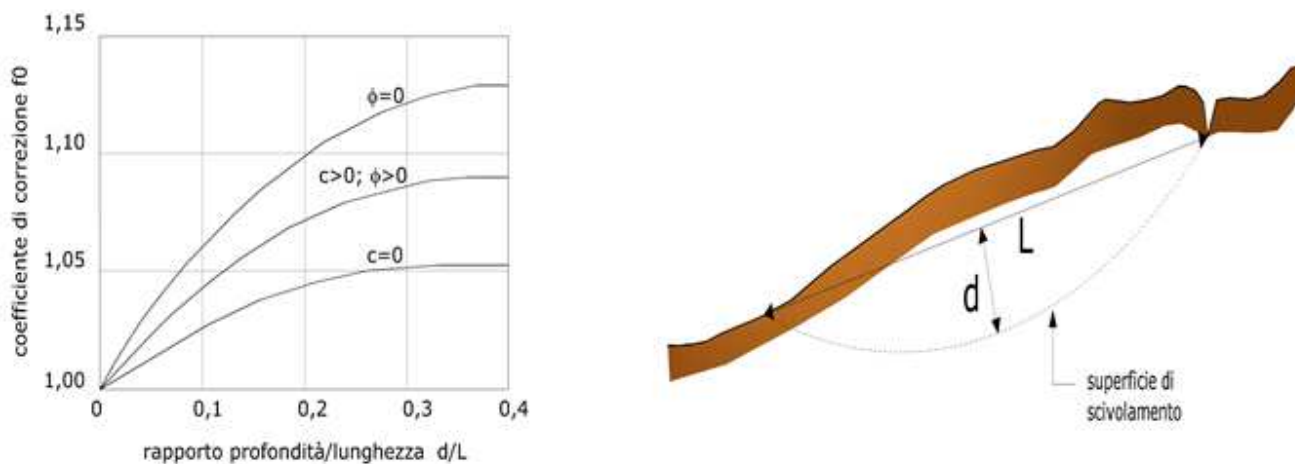


Fig. 28 - CORREZIONE DEL FATTORE DI SICUREZZA IN FUNZIONE DELLA FORMA DELLA FRANA E DEI PARAMETRI GEOTECNICI

La stabilità nei confronti dell'azione sismica viene verificata con il metodo pseudostatico considerando un incremento della spinta a tergo del blocco dovuta all'accelerazione (verticale ed orizzontale) provocata dal sisma stesso. Tali valori dell'accelerazione provocata dal sisma sono valutati come una frazione dell'accelerazione di gravità g e i coefficienti moltiplicatori di g (K_x e K_y) variano con le caratteristiche sismiche della zona. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica vengono quindi considerate le seguenti forze:

$$F_H = K_x W$$

$$F_V = K_y W$$

Essendo F_H e F_V rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro di ogni concio, W il peso del concio e K_x e K_y i coefficienti sismici orizzontale e verticale già introdotti in precedenza.

Gli effetti dello spostamento indotto dal sisma sono stati calcolati con il metodo di *Newmark*.

L'analisi alla *Newmark* è un metodo di analisi numerica utile alla definizione dello spostamento di una frana potenziale, considerata come un blocco rigido disposto su un pendio, imponendo le forze dinamiche (sisma) agenti sul blocco stesso. In sostanza il metodo valuta lo spostamento di un blocco di massa pari a quella del corpo in frana, sottoposto alla accelerazione indotta dal sisma (Cfr. **Fig. 29**).

Una volta definita la superficie di scorrimento il programma utilizzato (**QSIM** della **GEOSTRU**) definisce l'accelerazione critica che determina il movimento del blocco equivalente al volume della frana e

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento)

Comune di Tornolo (PR)

successivamente confronta tale valore con l'accelerogramma del sito per valutare per quanto tempo il blocco rimane in condizioni di accelerazione superiori a quella critica (Cfr. **Fig. 30**).

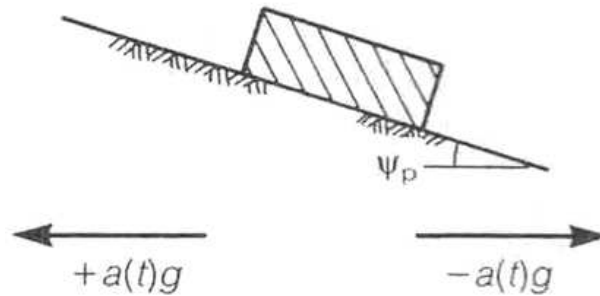


Fig. 29 - SCHEMATIZZAZIONE DEL METODO DI NEWMARK

Il calcolo degli spostamenti permanenti avviene attraverso la doppia integrazione (accelerazione>>velocità>>spostamento) delle porzioni dell'accelerogramma che supera il valore di accelerazione critica (al di sopra del quale si ha instabilità).

In pratica il programma calcola lo spostamento massimo per ciascun accelerogramma considerato di riferimento, per la porzione di pendio di cui il metodo pseudostatico ha definito il fattore di sicurezza minimo.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento)

Comune di Tornolo (PR)

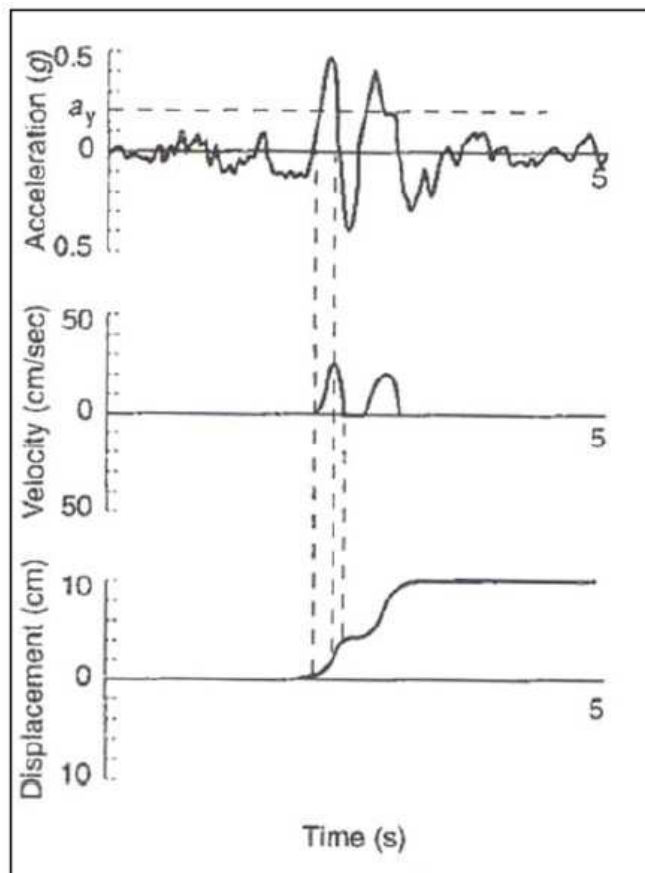


FIG. 30 - ESEMPLIFICAZIONE DELLA METODOLOGIA DI NEWMARK, CON DOPPIA INTEGRAZIONE DELL'ACCELEROGRAMMA

5.2.2 Le ipotesi verificate

Come già indicato in precedenza, la verifica è stata effettuata sulla zona di attenzione per instabilità di versante presente nel settore orientale dell'ambito di Tarsogno. Il fenomeno in esame si origina nei pressi del Santuario e si sviluppa in direzione del Rio di Tarsogno dove si arresta dopo aver coinvolto ed interessato la località la Villa. Attualmente si trova in uno stato di quiescenza ed è caratterizzato da un cinematisma di tipo complesso.

L'assenza di prove significative e le dimensioni del corpo di frana non hanno consentito, anche in relazione ai fondi disponibili, di effettuare le indagini che l'Allegato 3 punto C) della DGR 2193/2015 indica come opportune per la verifica di stabilità in condizioni sismiche. In particolare, non sono disponibili dati affidabili relativi ai parametri geotecnici dei materiali in frana, sulla quale sono state eseguite una prova sismica MASW+Sismica a rifrazione (codice 034040L10), realizzata a corredo del presente studio di III° livello e una prova tomografica progressiva (codice 034040P71) che hanno permesso di stimare lo spessore medio del corpo di frana (circa 10,00 – 15,00 m).

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento)

Comune di Tornolo (PR)

Per questo motivo si è preferito procedere con una metodologia di verifica mediante *back analysis*: definita la superficie di scorrimento della frana sulla base delle indagini sismiche, si è effettuata una verifica in condizioni non sismiche che ha fornito le coppie dei parametri geotecnici ϕ' e c' che determinano un coefficiente di sicurezza $F_s=1$ (Cfr. **Fig. 31**), imponendo una falda ad una profondità di circa -3,00 m da piano campagna, ipotesi severa e a favore di sicurezza.

Considerato che si tratta di una frana quiescente, il cui coefficiente di sicurezza non è noto, ma che deve risultare $F_s \geq 1$, si è quindi proceduto con successive verifiche, aumentando progressivamente i parametri di resistenza al taglio ottenendo fattori di sicurezza crescenti.

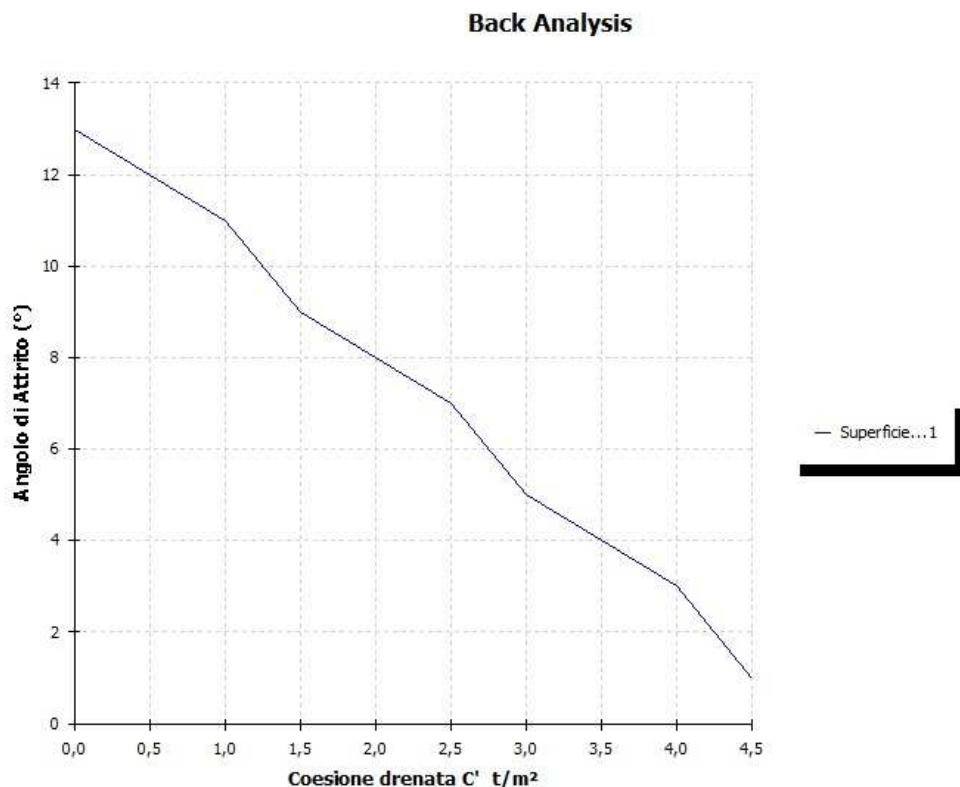


FIG. 31 – BACK ANALYSIS PER LA FRANA DI TARSOGLIO

Successivamente è stata calcolata l'accelerazione critica ($0,098 \text{ m/s}^2$) ed è quindi stata effettuata l'analisi dinamica.

La verifica dinamica è stata svolta per i tre accelerogrammi forniti dalla regione Emilia Romagna, già descritti nel paragrafo **5.1.3**, opportunamente scalati mediante i metodi della risposta sismica locale (accelerogrammi di *output* di "LSR 1D").

I valori di spostamento del corpo di frana calcolati utilizzando gli accelerogrammi proposti dalla regione Emilia Romagna correttamente scalati e modificati, sono i seguenti: $M1$ (5,45 cm), $M2$ (1,03 cm) e $M3$ (8,49 cm)

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento)

Comune di Tornolo (PR)

Nella Carta di microzonazione sismica che saranno descritte nel paragrafo 5.3, il valore di spostamento riportato è quello massimo registrato (8,49 cm) con $F_s=1$.

Di seguito si riportano in modo sintetico la rappresentazione grafica della sezione analizzata e gli accelerogrammi risultanti dalle verifiche eseguite.

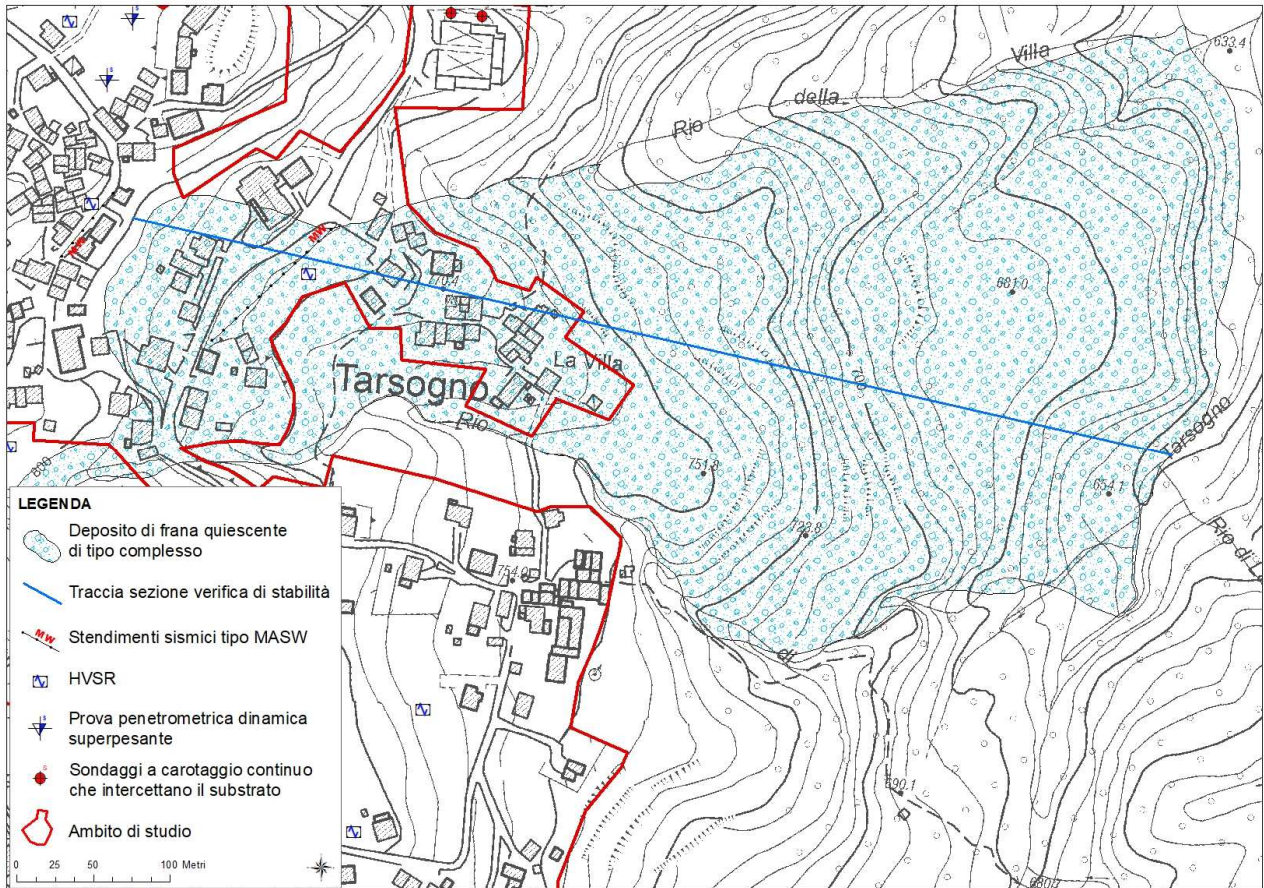


FIG. 32 – UBICAZIONE DELLA SEZIONE ANALIZZATA

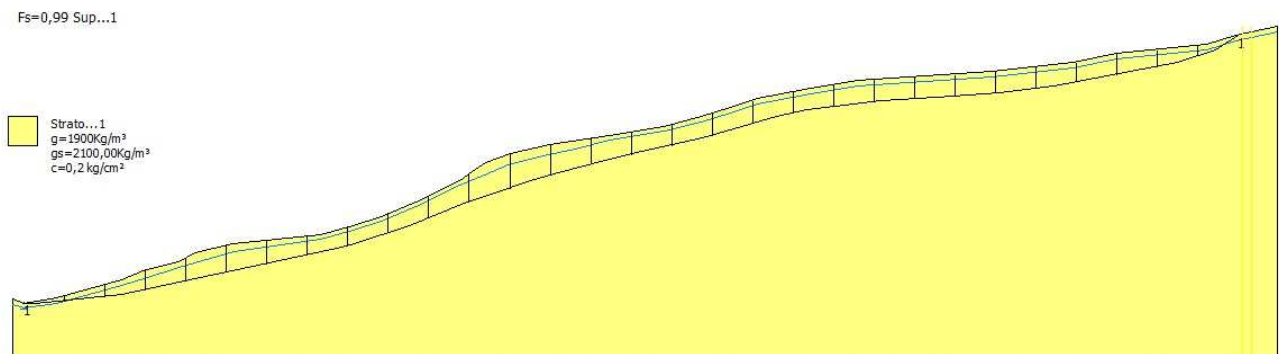
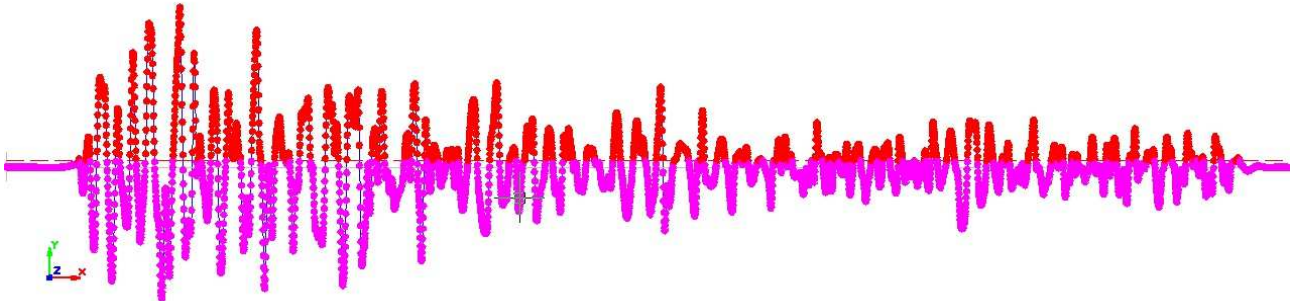
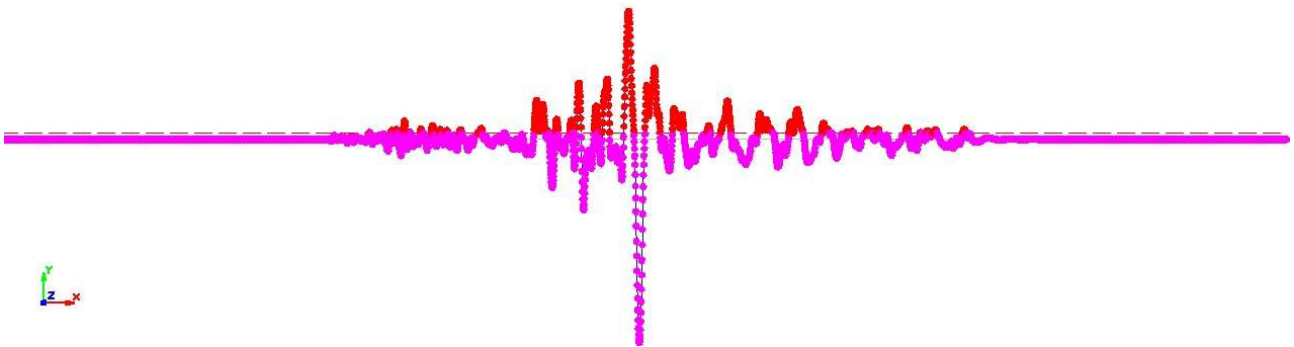


FIG. 33 – SEZIONE ANALIZZATA CON SUDDIVISIONE IN CONCI DEL CORPO DELLA FRANA DI TARSOGNO

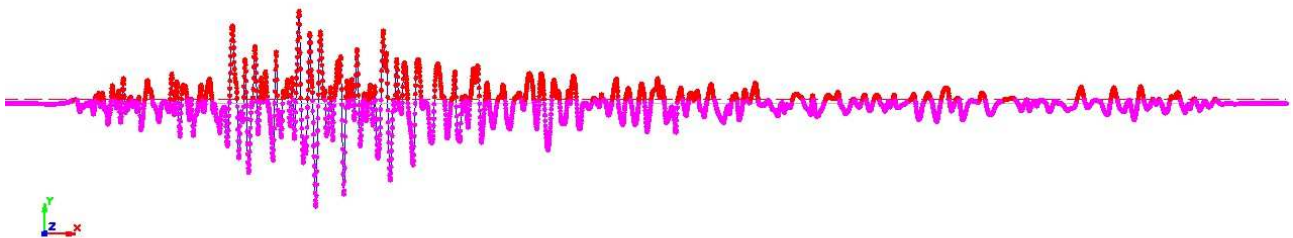
Sisma M1 da Regione Emilia-Romagna



Sisma M2 da Regione Emilia-Romagna



Sisma M3 da Regione Emilia-Romagna



5.3. Carte di microzonazione sismica

Gli elaborati conclusivi del presente studio sono rappresentati dalle Carte di microzonazione sismica, redatte alla scala 1:5.000, nelle quali sono raffigurate le amplificazioni sismiche stimate, le zone di attenzione e quelle suscettibili di instabilità, presenti all'interno degli ambiti di studio (*Tornolo Capoluogo, Tarsogno, Frettolera, Ravezza, Santa Maria del Taro e Ponte Strambo*). Inoltre, negli elaborati vengono indicati gli spostamenti massimi attesi (*FRT*) calcolati per la frana oggetto di approfondimenti di III° Livello.

L'amplificazione è stata calcolata in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0) sia di rapporto di Intensità di *Housner* (S/S_0) per prefissati intervalli di periodi.

In corrispondenza dei settori sud-occidentale e centro-orientale dell'abitato di Tarsogno, interessati dalla presenza di fenomeni gravitativi, sono stati attribuiti a ciascuna zona di suscettibilità per instabilità i fattori di amplificazione desunti con l'analisi approfondita di terzo livello descritta nel paragrafo **5.1**, inserendo all'interno del database i vari spettri rappresentativi, in accelerazione e in velocità. Inoltre, in corrispondenza della frana quiescente situata all'interno dell'abitato di Tarsogno, nei pressi del Santuario, oltre ai fattori di amplificazione è stato inoltre indicato lo spostamento massimo atteso (*FRT*) stimato come illustrato nel capitolo **5.2**.

Nelle zone in cui non sono stati effettuati gli approfondimenti di III° Livello, la stima dell'amplificazione stratigrafica è stata effettuata tramite procedure semplificate (utilizzo di abachi definiti dalla *DGR 2193/2015*).

Nel dettaglio, in relazione alle caratteristiche stratigrafiche riscontrate nel sottosuolo degli ambiti di studio, sono state impiegate unicamente le seguenti tabelle, contenute nell'*Allegato 2* degli indirizzi regionali:

- Tabelle riportate in **Tab. 7**, rappresentative di un profilo stratigrafico di tipo APPENNINO costituito da depositi di copertura, con spessori fino a 50 metri, sovrastanti il substrato marino non rigido (depositi marini caratterizzati da $V_s < 800\text{m/s}$).
- Tabella riportata in **Tab. 8** relativa ad un profilo stratigrafico tipo APPENNINO, caso substrato marino non rigido affiorante o sub affiorante (ovvero depositi marini caratterizzati da $V_s < 800\text{m/s}$, con spessore della copertura o della coltre di alterazione inferiore a 2,50 m); utilizzata per le porzioni più a monte del territorio oppure lungo le aree di versante.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento)

Comune di Tornolo (PR)

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2.3	2.0	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	
10	2.3	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.3	1.2	
15	2.2	2.2	2.1	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.2	
20	2.1	2.1	2.1	2.0	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	
25	2.1	2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6	1.4	1.3	
30		2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6	1.4	1.3	
35		2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2
40		2.0	2.0	2.0	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2
50		1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2

Tabella 4: Substrato marino caratterizzato da $V_s < 800m/s$. Fattori di Amplificazione **PGA**. Colonna 1 $H(m)$, riga 1 $V_{sH}(m/s)$

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2.1	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	
10	2.6	2.3	1.9	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.3	
15	2.7	2.6	2.3	1.9	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	
20	2.6	2.6	2.4	2.1	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	
25	2.6	2.6	2.5	2.3	2.0	1.7	1.6	1.4	1.3	
30		2.4	2.4	2.3	2.1	1.8	1.6	1.5	1.3	
35		2.4	2.4	2.3	2.2	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2
40		2.2	2.2	2.2	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2
50		2.1	2.1	2.1	2.1	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3

Tabella 5: Substrato marino caratterizzato da $V_s < 800m/s$. Fattori di Amplificazione **SI1** ($0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$). Colonna 1 $H(m)$, riga 1 $V_{sH}(m/s)$

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	
10	1.8	1.6	1.4	1.4	1.3	1.4	1.3	1.3	1.3	
15	2.3	1.9	1.6	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	
20	2.9	2.6	1.9	1.6	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	
25	3.6	3.0	2.3	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	
30		3.3	2.7	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	
35		3.5	3.0	2.2	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	1.1
40		3.5	3.2	2.6	2.0	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2
50		3.3	3.3	3.0	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3

Tabella 6: Substrato marino caratterizzato da $V_s < 800m/s$. Fattori di Amplificazione **SI2** ($0.5s \leq T_0 \leq 1.0s$). Colonna 1 $H(m)$, riga 1 $V_{sH}(m/s)$ **TAB. 7 – TABELLE UTILIZZATE PER LA STIMA DI F.A. PER APPENNINO CARATTERIZZATO DA DEPOSITI DI COPERTURA, CON SPESSORI FINO A 50 METRI, SOVRASTANTI IL SUBSTRATO MARINO NON RIGIDO (DEPOSITI MARINI CARATTERIZZATI DA $V_s < 800m/s$)**

$V_{s30}(m/s) \rightarrow$	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
F.A. PGA					1.9	1.8	1.6	1.4	1.2	1.1
F.A. SI1					1.9	1.7	1.6	1.4	1.3	1.2
F.A. SI2					1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3

Tabella 7: Substrato marino caratterizzato da $V_s < 800m/s$ affiorante. Fattori di Amplificazione **PGA**, **SI1** e **SI2****TAB. 8 – TABELLE UTILIZZATE PER LA STIMA DI F.A. PER APPENNINO, CASO SUBSTRATO MARINO NON RIGIDO AFFIORANTE O SUB AFFIORANTE (OVVERO DEPOSITI MARINI CARATTERIZZATI DA $V_s < 800m/s$, CON SPESSORE DELLA COPERTURA O DELLA COLTRE DI ALTERAZIONE INFERIORE A 2,50 M**

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento)

Comune di Tornolo (PR)

Nella determinazione dei fattori di amplificazione attraverso procedure semplificate, per le **Zone 1, 2 e 3** sono stati impiegati gli abachi relativi al substrato affiorante e sub-affiorante (Cfr. **Tab. 8**), adottando le velocità V_{s30} medie indicate in **Tab. 4**, mentre per le Zone **4, 5, 6, 8, 9, 10, 11 e 14**, sono stati impiegati gli abachi rappresentati in **Tab. 7** considerando i valori delle Velocità V_{sH} contenute in **Tab. 4** e gli spessori H di copertura caratteristici di ciascuna MOPS. Infine, per le sole zone **12 e 13** la determinazione è avvenuta attraverso approfondimenti di III° Livello secondo le procedure descritte nel paragrafo **5.1**.

In **Tab. 9**, per ciascuna microzona individuata, vengono riportati i fattori di amplificazione determinati attraverso le differenti procedure sopraelencate.

Zona	Livello di approfondimento	F.A. P.G.A.	F.A. Is (0.1s<T0<0.5s)	F.A. Is (0.5s<T0<1.0s)
2001	2	1.2	1.3	1.3
2002	2	1.4	1.4	1.4
2003	2	1.2	1.3	1.3
2004	2	1.8	1.6	1.4
2005	2	2	1.7	1.4
2008	2	2	1.7	1.4
2009	2	2.1	2.4	1.9
2010	2	2	2.3	1.7
2011	2	2.1	2.4	1.9
2012	3	1.73	1.93	1.46
2013	3	1.52	1.76	1.45
2014	2	2.2	2.3	1.6

TAB. 9 – VALORI DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA

I fattori di amplificazione calcolati, come sopra descritto sono stati rappresentati nelle relative carte, effettuando gli accorpamenti indicati dagli SRAI e riportati nella seguente figura.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento)

Comune di Tornolo (PR)








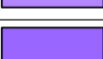


Parametro di amplificazione ²⁹	Simbolo
1.1 - 1.2	
1.3 - 1.4	
1.5 - 1.6	
1.7 - 1.8	
1.9 - 2.0	
2.1 - 2.2	
2.3 - 2.4	
2.5 - 3.0	
3.1 - 3.5	
>3.5	

FIG. 34 – LEGENDA ADOTTATA PER L'ACCORPAMENTO DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE NELLE ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI

Nelle stesse carte sono state raffigurate anche le zone di attenzione, rappresentate da un retino con righe oblique di colore nero sovrapposto a un colore di fondo derivante dal fattore di amplificazione calcolato con gli abachi; inoltre nelle aree sulle quali sono stati effettuati approfondimenti di III° Livello (zone suscettibili di instabilità di versante) sono stati indicati il parametro che quantifica tali fenomeni: ovvero, il massimo movimento (*FRT*, in centimetri). Questo è stato assunto, cautelativamente, uguale al massimo tra i valori calcolati come descritto nel paragrafo 5.2.2. In funzione del valore dello spostamento massimo calcolato pari a 8,49 cm, in legenda è stato indicato un retino trasparente con triangoli pieni posto al di sopra a un colore di fondo dato dal fattore di amplificazione determinato con Risposta Sismica Locale.

Infine, nelle zone suscettibili d'instabilità non interessate nel presente studio da approfondimenti di II° e III° Livello, non è stato calcolato alcun fattore di amplificazione, mantenendo la rappresentazione grafica, con colore verde pieno, stabilita dagli *standard versione 2.0*.

6. BIBLIOGRAFIA

- *PIANO TERRITORIALE DI COORDINAMENTO PROVINCIALE (PTCP) DELLA PROVINCIA DI PARMA - VARIANTE DI ADEGUAMENTO ALLA NORMATIVA SISMICA REGIONALE (L.R. n.19/2008 "Norme per la Riduzione dei Rischio Sismico"). Variante approvata dal Consiglio Provinciale con delibera n.23 del 17.04.2013.*
- *PIANO TERRITORIALE DI COORDINAMENTO PROVINCIALE (PTCP) DELLA PROVINCIA DI PARMA - VARIANTE SPECIFICA - AGGIORNAMENTO DELLA CARTA DEL DISSESTO (ai sensi dell'art.27bis della L.R. 20/2000 e s.m.i.). Variante approvata dal Consiglio Provinciale con delibera n. 41 del 25.07.2016*
- *MICROZONAZIONE SISMICA, UNO STRUMENTO CONSOLIDATO PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO. L'esperienza della Regione Emilia-Romagna (2012) – Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli*
- *STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA (I° E II° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO) DEL COMUNE DI TORNOLO (Dott. Geol. Domenico Bianco, 2012).*
- *Ingegneria sismica - Anno XXVIII - n. 2 - 2011 "INDIRIZZI DI MICROZONAZIONE SISMICA"*
- *Locati M., Camassi, R. e Stucchi M. (2011) BDMI11, LA VERSIONE 2011 DEL DATABASE MICROSISMICO ITALIANO. Milano,Bologna, <http://Emidius.mi.ingv.it/DBMI11>*
- *Albarello D., Castellaro S. (2011) - TECNICHE SISMICHE PASSIVE: INDAGINI A STAZIONE SINGOLA, Ingegneria Sismica Anno XXVIII - n. 2 – 2011, Appendice I e II, pp 50-62*
- *Marcellini A., Martelli L, Tenta A., Daminelli R. - L'AMPLIFICAZIONE SISMICA NEGLI "INDIRIZZI PER GLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA IN EMILIA-ROMAGNA PER LA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE E URBANISTICA" (2009)*
- *Gruppo di lavoro MS, 2008. "INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA". Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome - Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e Dvd.*
- *Meletti C. e Valensise G., (2004). ZONAZIONE SIMOGENETICA ZS9-APP. 2 AL RAPPORTO CONCLUSIVO. In: "Gruppo di Lavoro MPS (2004).Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCm 3274 del 20 marzo 2003 ". Rapporto per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004*

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento)

Comune di Tornolo (PR)

- CARTA GEOLOGICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA – PROGETTO CARG (Servizio Geologico Sismico e dei Suoli – Regione Emilia Romagna)

7. ALLEGATI

Nel corso dello studio sono stati redatti i seguenti elaborati grafici:

Elaborato 1	Carta delle indagini	scala 1:5.000
Elaborato 1a	Carta delle indagini raccolte nello studio	Scala 1:15.000
Elaborato 2a	Carta geologico - tecnica per la microzonazione sismica_Settore ovest	Scala 1:10.000
Elaborato 2b	Carta geologico - tecnica per la microzonazione sismica_Settore est	scala 1:10.000
Elaborato 3	Carta delle frequenze	scala 1:5.000
Elaborato 4a	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica_Settore ovest	scala 1:10.000
Elaborato 4b	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica_Settore est	scala 1:10.000
Elaborato 5	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	scala 1:5.000
Elaborato 6.a	Carta delle microzonazione sismica FA_{PGA}	scala 1:5.000
Elaborato 6.b	Carta delle microzonazione sismica $FA_{Is\ 0,1s < T_0 < 0,5\ s}$	scala 1:5.000
Elaborato 6.c	Carta delle microzonazione sismica $FA_{Is\ 0,5s < T_0 < 1,0\ s}$	scala 1:5.000
Elaborato 7	Sondaggi a carotaggio continuo	
Elaborato 8	Prove sismiche	

Borgo Val di Taro, 15/09/2018

Il tecnico incaricato

Dott. Geol. Domenico Bianco