



COMUNE DI
LINAROLO
PROVINCIA DI PAVIA

PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO

AGGIORNAMENTO 2018

Ai sensi della L.R. n° 12 del 11.03.2005



Il Sindaco

Il Segretario Comunale

L'Assessore all'Urbanistica

Il progettista

PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO
AGGIORNAMENTO 2018

Componente geologica, idrogeologica e sismica

DATA

TITOLO

GIUGNO

**ADEGUAMENTO ALLA DIRETTIVA ALLUVIONI
2007/60/CE - REVISIONE 2019 ED ANALISI E
VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI IN SITO
DI 2° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO**

2020

A cura di:
Dott. Geol. GIANLUCA NASCIBENE

DOCUMENTO DI PIANO

D.d.P.

INDICE

1. PREMESSA	2
2. RECEPIMENTO DEL PIANO GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI (P.G.R.A.)	3
3. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO	6
4. ANALISI E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO PER LA DEFINIZIONE DELLA CARTA DI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (PSL)	9
4.1. Analisi 1° livello	10
4.2. Analisi di 2° livello (fase pianificatoria)	13
4.3. Modello geofisico	17
4.4 . Valutazione dei fattori di amplificazione litologica (Fa) sito - dipendente e verifica dei risultati	17

ALLEGATO 1 - 2° livello di approfondimento scenari qualitativi suscettibili di amplificazioni sismiche -- effetti morfologici e litologici

Tavola 1 – Carta di pericolosità sismica locale	scala 1:10.000
Tavola 2a – Carta di sintesi-vincoli - Nord	scala 1:5000
Tavola 2b – Carta di sintesi-vincoli - Sud	scala 1:5000
Tavola 3a – Carta della fattibilità geologica - Nord	scala 1:5000
Tavola 3b – Carta della fattibilità geologica - Sud	scala 1:5000
Tavola 4 – Carta PAI-PGRA	scala 1:10000

1. PREMESSA

Su incarico del Comune di Linarolo (PV), a supporto della Variante parziale del Piano di Governo del Territorio è stato adeguato lo Studio Geologico - Tecnico territoriale, sulla scorta delle indicazioni contenute nella:

- **D.G.R. 30 novembre 2011 n°9/2616** "Aggiornamento dei "Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, alla L.R. 11 marzo 2005, n°12", in conformità alla L.R. 11 marzo 2005, n°12 "Legge per il Governo del Territorio" e s.m.i. ed in ottemperanza alle disposizioni introdotte dal D.M. 19.01.2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni" e s.m.i.
- **D.g.r. 30 marzo 2016 - n. X/5001** "Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica (artt. 3, comma 1, e 13, comma 1, della l.r. 33/2015)";
- **Delibera Giunta regionale 19 giugno 2017 - n. X/6738** "Disposizioni regionali concernenti l'attuazione del piano di gestione dei rischi di alluvione (PGRA) nel settore urbanistico e di pianificazione dell'emergenza, ai sensi dell'art. 58 delle norme di attuazione del piano stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI) del bacino del Fiume Po così come integrate dalla variante adottata in data 7 dicembre 2016 con deliberazione n. 5 dal comitato istituzionale dell'autorità di bacino del Fiume Po".
- **Delibera C.I.P: 20 dicembre 2019 - n. 7** "Mappe della pericolosità da alluvione e Mappe del rischio alluvioni-Riesame e aggiornamento ai sensi della Direttiva 2007/60/CE e del decreto legislativo n.49/2010".

Il vigente strumento urbanistico è dotato di apposita Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica estesa all'intero territorio comunale (Aprile 2011 – Rev. Luglio 2013), redatta conformemente alle direttive tecniche di cui alla D.G.R. 22 dicembre 2005, n°8/1566. Pertanto, ai sensi della L.R. n°12/2005 e s.m.i..

Il Comune di Linarolo, nell'ambito del procedimento di redazione della Variante parziale al Piano di Governo del Territorio in oggetto, ha redatto l'adeguamento dello Studio Geologico - Tecnico territoriale secondo la D.G.R. n°9/2616/2011 e D.g.r. n°X/5001/2016, con particolare riferimento ai contenuti di cui alla Parte 1 –Cap. 1.4 "Analisi della pericolosità sismica" e All.5 "Analisi e valutazione degli effetti sismici di sito in Lombardia finalizzate alla definizione dell'aspetto sismico nei P.G.T." e secondo il Piano di Gestione dei Rischi di Alluvioni (PGRA), La Regione Lombardia, con D.G.R. 11 luglio 2014, n°10/2129 e successiva D.G.R. 10 ottobre 2014 n°10/2489, ha infatti provveduto all'aggiornamento della classificazione sismica dei Comuni lombardi.

Tale provvedimento è stato emanato in attuazione della Legge 112/1998, della Legge Regionale 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d), del D.P.R. 380/2001 e di specifiche O.P.C.M., tra cui la n°3274/2003 e s.m.i., recepita dalla D.G.R. 7 novembre 2003, n°14964.

Dai contenuti delle stesse D.G.R. 11 luglio 2014, n°10/2129 e s.m.i., entrata definitivamente in vigore dal 10 Aprile 2016, si evince come *il territorio comunale di Linarolo risulta essere stato riclassificato in Zona Sismica 3.*

Con la Legge Regionale 12 ottobre 2015, n°33 sono state approvate le "Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche", nel rispetto dei principi fondamentali contenuti nella parte II, capo IV, del decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n°380 (Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia); con successiva D.G.R. 30 marzo 2016 n°10/5001, la Giunta Regionale ha infine approvato le linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica.

2. RECEPIMENTO DEL PIANO GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI (P.G.R.A.)

Il Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del fiume Po con delibera n. 4 del 17 dicembre 2015, approvato con delibera n. 2 del 3 marzo 2016 è definitivamente approvato con d.p.c.m. del 27 ottobre 2016, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n. 30, serie Generale, del 6 febbraio 2017, ha adottato il "Progetto di variante al PAI – Integrazione alla NdA" per il coordinamento tra il PAI stesso ed il Piano di Gestione dei Rischi di Alluvioni (PGRA).

Tale adeguamento deve essere effettuato nel rispetto della normativa PAI vigente, nel frattempo aggiornata dal Comitato istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Po con l'introduzione de nuovo Titolo V: "Norme in materia di coordinamento tra il PAI e il PGRA" (deliberazione n. 5 del 7 dicembre 2016) e delle "Disposizioni concernenti l'attuazione del PGRA nel settore urbanistico e di pianificazione d'emergenza..." che hanno definito le modalità e i termini per l'adeguamento degli strumenti urbanistici comunali al PGRA in Regione Lombardia (DGR X/6738 del 19 giugno 2017).

In sintesi le carte del PGRA sono entrate a far parte del PAI e le perimetrazioni ivi riportate sono state assoggettate a specifica normativa, integrata nella NdA del PAI.

L'autorità di bacino ha adottato con delibera del **20 dicembre 2019 - n. 7** la revisione delle mappe della pericolosità da alluvione e delle Mappe del rischio alluvioni-Riesame (aggiornamento ai sensi della Direttiva 2007/60/CE e del decreto legislativo n.49/2010"), per il territorio di Linarolo non sono state apportate modifiche rispetto alle mappe del 2015.

In concreto l'adeguamento consiste:

- A. nel recepimento nella componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT delle aree allagabili individuate dal PGRA che sono state puntualmente indicate da Regione Lombardia con la DGR 6738/2017.
- B. nell'adeguamento delle norme geologiche di piano e delle relative classi di fattibilità geologica, al fine di coordinare la normativa degli interventi edilizi con le nuove condizioni di pericolosità riscontrate a valle degli studi idraulici di dettaglio;
- C. nella revisione complessiva degli elaborati che fanno parte dello studio geologico vigente, sulla base dell'aggiornamento del quadro conoscitivo dei dissesti del territorio e ai fini di una migliore corrispondenza con le disposizioni attuative regionali, a partire dalla DGR IX/2616 del 2011;

Le mappe di pericolosità evidenziano le aree potenzialmente interessate da eventi alluvionali secondo gli scenari di bassa probabilità (P1), di media probabilità (P2) e alta probabilità (P3), distinte con tonalità di blu, la cui intensità diminuisce in rapporto alla diminuzione della frequenza di allagamento.

Le mappe identificano ambiti territoriali omogenei distinti in relazione alle caratteristiche e all'importanza del reticolo idrografico e alla tipologia e gravità dei processi di alluvioni prevalenti ad esso associati, secondo la seguente classificazione:

- Reticolo idrografico principale (RP)
- Reticolo idrografico secondario collinare e montano (RSCM)
- Reticolo idrografico secondario di pianura artificiale (RSP)
- Aree costiere lacuali (ACL).

Le mappe del rischio segnalano la presenza nelle aree allagabili di elementi potenzialmente esposti (popolazione, servizi, infrastrutture, attività economiche, etc.) e il corrispondente livello di rischio, distinto in 4 classi rappresentate mediante colori: giallo (R1-Rischio moderato o nullo), arancione (R2-Rischio medio), rosso (R3-Rischio elevato), viola (R4-Rischio molto elevato).

Il territorio di Linarolo è interessato solamente dal "Reticolo Idrografico principale (RP) e pertanto dalle "Aree allagabili in ambito del Reticolo Principale di Pianura e di Fondovalle (RP) – fiume Po".

Si ricorda che per ogni singola tipologia la Direttiva Alluvioni prevede tre differenti scenari, sulla base della frequenza dei fenomeni e delle pericolosità conseguente:

- Scenario frequente – pericolosità alta (P3/H) – $Tr < 50/200$ anni (in base al tipo di fenomeno),
- Scenario poco frequente – pericolosità media (P2/M) – $Tr 100/200$ e 500 anni,
- Scenario raro – pericolosità bassa (P1/L) – $Tr > 500$ anni e/o massimo registrato.

Le aree allagabili nel RP coincidono nella maggioranza dei casi con le fasce fluviali del PAI lungo il fiume Po, il tipo di scenario è direttamente collegato al livello di pericolosità del PAI e quindi alle fasce fluviali: - Fascia A = scenario frequente, - Fascia B = scenario poco frequente, - Fascia C = scenario raro.

Nel comune di Linarolo sono presenti e sovrapposti gli uni con gli altri tutti e tre gli scenari sopra individuati, pertanto, come da normativa, si applicano le norme più restrittive relative allo scenario più penalizzante (Scenario frequente – pericolosità alta (P3/H)), le cui attività permesse e vietate saranno pertanto regolate da quanto prescritto per la Fascia A del PAI.

Nel territorio di Linarolo sono state individuate alcune aree (tra cui parte dell'abitato di Vaccarizza), nello scenario a Rischio idraulico molto elevato R4.

Normativa sul Reticolo Principale

L'ambito territoriale di riferimento è quello interessato dalle aree potenzialmente allagabili dai corsi d'acqua riportati appartenenti al Reticolo Idrico Principale

Si specifica come le aree allagabili non sostituiscono le fasce fluviali ma rappresentano un aggiornamento e un'integrazione in base ai livelli idrici corrispondenti alle tre piene di riferimento considerate, utilizzando rilievi topografici di dettaglio e aggiornano i livelli di piena e le portate.

Fino all'adozione delle specifiche varianti PAI che porteranno alla revisione delle fasce fluviali vigenti, entrambe le perimetrazioni restano in vigore. In caso di sovrapposizione deve essere applicata la classificazione e di conseguenza la norma più restrittiva; in particolare:

- Nelle aree interessate da alluvioni frequenti (aree P3/H) si applicano le limitazioni e prescrizioni previste per la fascia A delle norme di cui al Titolo II- Norme per le fasce fluviali delle N.d.a. del PAI.
- Nelle aree interessate da alluvioni poco frequenti (aree P2/M) si applicano le limitazioni e prescrizioni previste per la fascia B delle norme di cui al Titolo II- Norme per le fasce fluviali delle N.d.a. del PAI.
- Nelle aree interessate da alluvioni rare (aree P1/L), come nel caso di Linarolo, si applicano le disposizioni di cui all'art. 31 delle N.d.A. del PAI

In questa fase di recepimento del PGRA il Comune di Linarolo adotterà quindi in via cautelativa per le aree P3 le limitazioni e prescrizioni delle fasce PAI equivalenti, ovvero la Fascia A del PAI.

Nella tavola 4 vengono riportate per il Comune di Linarolo la mappatura delle aree potenzialmente interessate da alluvioni, classificate in base alla pericolosità (aree allagabili) e al rischio, con particolare riferimento alle situazioni a maggiore criticità.

In questa fase di recepimento del PGRA il Comune di Linarolo adotterà quindi in via cautelativa per le aree P3/H le limitazioni e prescrizioni delle fasce PAI equivalenti, ovvero la Fascia A del PAI.

Sulle aree già edificate esposte al rischio R4 e R3 l'amministrazione comunale dovrà valutare con maggior dettaglio le condizioni di pericolosità e di rischio alla scala locale seguendo le metodologie riportate negli Allegati alla d.g.r. IX/2616/2011, che sono di riferimento in particolare per gli ambiti territoriali RP e RSCM. Tale valutazione ha le seguenti finalità:

- individuare la necessità di mettere in opera interventi locali di riduzione del rischio (della vulnerabilità, dell'esposizione o di entrambe) nonché di ripristino provvisorio delle condizioni di sicurezza degli edifici esistenti e prioritariamente sulle infrastrutture per la gestione dell'emergenza, in particolare centri di coordinamento, aree di emergenza e viabilità di collegamento, così come risultanti dalla pianificazione di emergenza vigente;
- guidare, attraverso idonee prescrizioni costruttive ed edilizie, le ulteriori trasformazioni urbanistiche in modo che non subiscano danni significativi in caso di evento alluvionale;

- individuare le aree ove favorire la delocalizzazione degli insediamenti esistenti anche prevedendo forme di perequazione, compensazione e incentivazione;
- individuare le aree da assoggettare a eventuali piani di demolizione degli insediamenti esistenti e di rinaturalizzazione;
- definire specifici scenari di rischio e relativi modelli d'intervento nel Piano di Emergenza Comunale ai fini della salvaguardia della popolazione esposta al rischio alluvione;
- supportare l'amministrazione stessa nell'individuazione degli ambiti di esclusione dall'applicazione della l.r. 10 marzo 2017, n. 7 "Recupero dei vani e locali seminterrati esistenti" (cfr. art. 4).

3. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

A seguito della D.G.R 11 Luglio 2014 – n. X/2129 – "Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia", il Comune di Linarolo è stato inserito in "classe sismica 3".

In ogni caso la normativa sismica ed i parametri relativi a ciascun territorio risultano in veloce e continua revisione, soprattutto nell'ambito della convenzione tra INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) e DPC (Dipartimento Protezione Civile) che prevede l'assistenza per il completamento e la gestione della "mappa di pericolosità sismica" prevista dall'OPCM 3274.

Già l'Ordinanza PCM 3519 del 27/04/06 fornisce una revisione dei valori di ag sul territorio nazionale ed inserisce il territorio di **LINAROLO** nella sottozona caratterizzata da valori di ag compresi tra 0.075 e 0.100 (accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni).

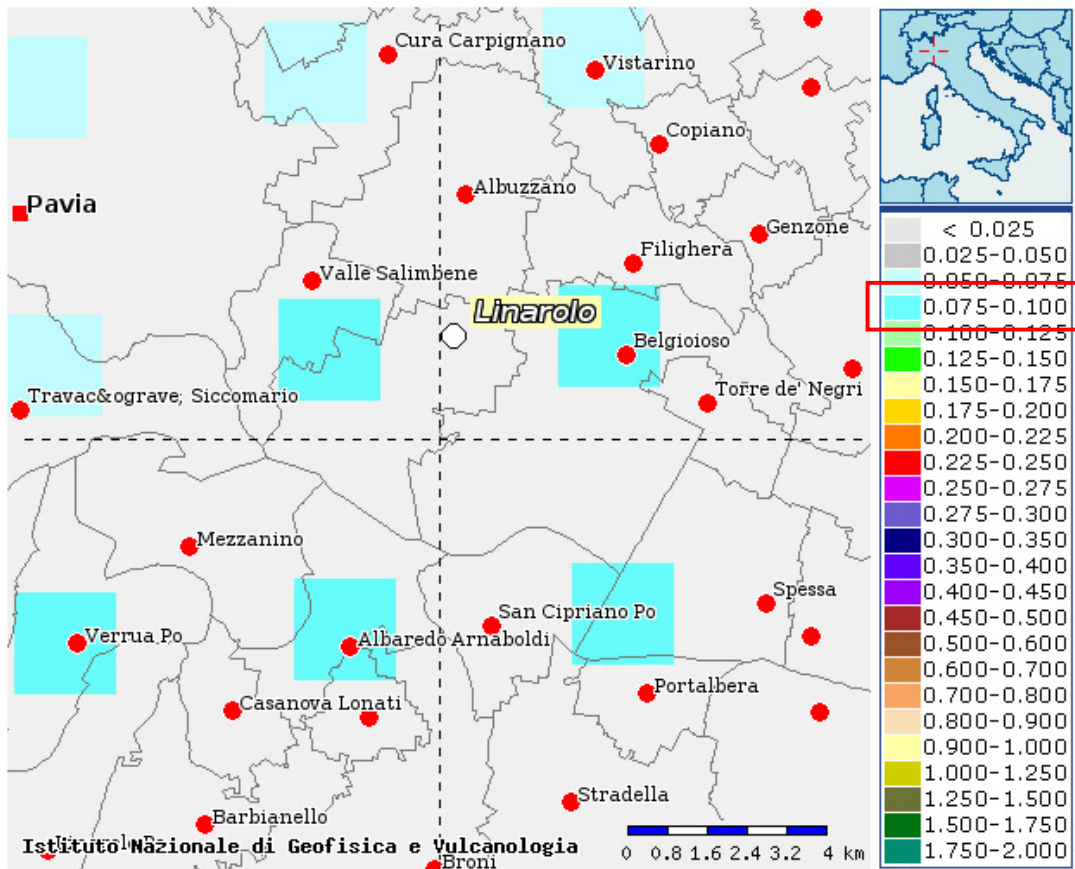


Fig. 1 – Valori di pericolosità sismica del territorio nazionale

Nell'ambito della revisione delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008) erano state adottate le stime di pericolosità sismica del progetto S1, concludendo il percorso iniziato nel 2003. Tali stime superano il concetto di classificazione a scala comunale e sulla base di 4 zone sismiche. Tuttavia le 4 zone sismiche mantengono una funzione prevalentemente amministrativa. La Regione Lombardia ha stabilito nella D.G.R. n°8/7374 del 28/05/2008 (punto 1.4.3) che "la suddivisione del territorio in zone sismiche (ai sensi dell'OPCM 3274/03) individua unicamente l'ambito di applicazione dei vari livelli di approfondimento in fase pianificatoria" e specifica altresì che "ai sensi del D.M. 14/01/2008, la determinazione delle azioni sismiche in fase di progettazione non è più valutata riferendosi ad una zona sismica territorialmente definita, bensì sito per sito, secondo i valori riportati nell'All. B al citato D.M.". I dati riportati nell'All. B del D.M. 14/01/2008 coincidono per lo più con quelli riportati nell'Ord. 3519/2006, e sono in ogni caso determinabili mediante le coordinate geografiche e l'utilizzo di programmi applicativi.

Attualmente, a seguito dell'emanazione del D.M. 17 gennaio 2018 (NTC 2018), Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni", pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n. 42 - S.O. n. 8, in data 20 Febbraio 2018, vengono rivisti alcuni aspetti della precedente normativa sismica nazionale e vengono aggiornati alcuni criteri di riconoscimento per quanto riguarda la categoria sismica del sottosuolo.

In particolare, secondo le NTC 2018, vengono eliminate le categorie S1 ed S2, ed è stato introdotto il concetto di VSeq.

In particolare con l'utilizzo della VSeq, le categorie di sottosuolo B, C e D vengono ampliate inglobando alcune configurazioni che rientravano in S2, quando il bedrock sismico si posizionava tra i 3 ed i 25 metri dal piano di riferimento. Inoltre la Categoria di sottosuolo D (che nelle NTC08 erano definite con $V_{s,30} < 180$ m/sec) viene classificata con valori di $V_{s,eq}$ compresi tra 100 e 180 m/sec. Inoltre, come è possibile osservare dalla seguente tabella, non si ricava più la categoria di sottosuolo usando o NSPT₃₀ o CU₃₀.

Categorie	Caratteristiche della superficie topografica
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio ($V_{S,eq}$) superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente ($V_{S,eq}$) compresi tra 360 m/s e 800 m/s
C	Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente ($V_{S,eq}$) compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente ($V_{S,eq}$) compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tabella 1 - Categorie di sottosuolo

Nelle definizioni precedenti V_{seq} è la velocità media di propagazione delle onde di taglio $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

h_i = spessore dello strato i -esimo;

$V_{s,i}$ = velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;

N = numero di strati;

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/sec. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m (come nei casi studiati per il Comune di Linarolo), la velocità equivalente delle onde di taglio V_{Seq} è definita dal parametro VS_{30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

In base a quanto prescritto nelle NTC 2018, la velocità delle onde di taglio, V_{seq} , va "determinata mediante apposite misure dirette, derivanti da indagini geofisiche di tipo sismico". Nel nostro caso la definizione della categoria di sottosuolo da un punto di vista sismico è stata dedotta da indagini MASW eseguite all'interno del territorio Comunale, che ha permesso di determinare il valore delle VS,eq che, in questo caso per assenza di substrato viene definita pertanto dal parametro $VS,30$.

4. ANALISI E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO PER LA DEFINIZIONE DELLA CARTA DI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (PSL)

Poiché attualmente il Comune di Linarolo si trova in classe sismica 3, in relazione allo Scenario di Pericolosità Sismica Locale (Z4a - Effetti: AMPLIFICAZIONI LITOLOGICHE E GEOMETRICHE) in fase pianificatoria deve essere redatto uno studio il 2° LIVELLO di approfondimento, al fine di caratterizzare gli effetti di amplificazione sismica locale (ai sensi della DGR 8/7374/ 2008 e DGR IX/2616 del 30 Novembre 2011), non solo per Opere strategiche e rilevanti (d.d.u.o. n. 19904/2003), ma per ogni tipologia di opera/edificio (strutture interferenti con l'urbanizzato e/o l'urbanizzabile).

Per la definizione degli scenari di pericolosità sismica locale si è fatto riferimento alle procedure indicate nell'All.5 della D.G.R. n°9/2616/2011, che aggiornano, sulla base delle avvenute modifiche in materia di norme tecniche sulle costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008), i contenuti di cui all'All.5 della precedente D.G.R. n°8/1566/2005. Come è noto, la metodologia per la valutazione dell'amplificazione sismica locale prevede tre livelli di approfondimento con grado di dettaglio in ordine crescente: i primi due livelli sono obbligatori in fase di

pianificazione (con le opportune differenze in funzione della zona sismica di appartenenza), mentre il terzo è obbligatorio in fase di progettazione.

	Livelli di approfondimento e fasi di applicazione		
	1^ livello fase pianificatoria	2^ livello fase pianificatoria	3^ livello fase progettuale
Zona sismica 2-3	obbligatorio	<i>Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato e urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili</i>	- <i>Nelle aree indagate con il 2^ livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale;</i> - <i>Nelle zone PSL Z1e Z2.</i>
Zona sismica 4	obbligatorio	<i>Nelle zone PSL Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti di nuova previsione (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03)</i>	- <i>Nelle aree indagate con il 2^ livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale;</i> - <i>Nelle zone PSL Z1 e Z2 per edifici strategici e rilevanti.</i>

PSL = Pericolosità Sismica Locale

I livelli di approfondimento sono di seguito definiti:

- **1° Livello:** riconoscimento delle aree passibili di amplificazione sismica sulla base sia di osservazioni geologiche (cartografia di inquadramento) sia dei dati esistenti. Questo livello d'indagine prevede la realizzazione della Carta della pericolosità sismica locale;
- **2° Livello:** caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi nelle aree perimetrate nella Carta di pericolosità Sismica Locale, che fornisce la stima della risposta sismica dei terreni in termini di Fattore di Amplificazione (Fa);
- **3° Livello:** definizione degli effetti di amplificazione tramite indagini ed analisi più approfondite.

4.1. Analisi 1° livello

Come precedentemente indicato l'analisi di primo livello consiste in un approccio di tipo qualitativo e costituisce la base dalla quale partire per i successivi livelli di approfondimento.

Il metodo permette l'individuazione delle zone ove i diversi effetti prodotti dall'azione sismica sono, con buona attendibilità, prevedibili, sulla base di osservazioni geologiche e sulla raccolta dei dati disponibili per una determinata area, quali la cartografia topografica di dettaglio a scala 1:10.000 – 1:2.000, la cartografia geologica e dei dissesti (a scala 1:10.000 e 1:2.000) e i risultati di indagini geognostiche, geofisiche e geotecniche già svolte e che saranno oggetto di un'analisi mirata alla definizione delle condizioni locali (spessore delle coperture e condizioni stratigrafiche generali, posizione e regime della falda, proprietà indice,

caratteristiche di consistenza, grado di sovraconsolidazione, plasticità e proprietà geotecniche nelle condizioni naturali, ecc.).

Il prodotto finale è la carta della pericolosità sismica locale (PSL), in cui viene riportata la perimetrazione areale degli scenari Z1, Z2, Z4 e degli elementi lineari Z3, Z5, in grado di determinare gli effetti sismici locali (Tabella 2); tale livello si applica in fase di pianificazione su tutto il territorio comunale ed è obbligatorio in tutti i comuni della Regione Lombardia;

Si riportano di seguito gli scenari di pericolosità sismica locale tratti dalla L.R. 12/2005 e s.m.e.i. (D.G.R. IX/2616 del 30 Novembre 2011).

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2a	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.) Zone con depositi graulari fini saturi	Cedimenti
Z2b	Zone di depositi granulari fini saturi	Liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite -arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

Tabella 2 - Scenari di pericolosità sismica locale - effetti

L'analisi della pericolosità sismica all'interno del territorio comunale di Linarolo si basa sulle osservazioni di carattere geologico e sulla raccolta di dati disponibili, quali:

- assetto geologico e geolitologico
- elaborazioni di indagini geognostiche e geotecniche
- analisi delle condizioni stratigrafiche generali
- situazione idrogeologica
- caratteristiche di consistenza e proprietà geotecniche dei terreni nelle condizioni naturali

All'interno del territorio comunale di Linarolo sono stati riconosciuti 3 SCENARI DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE, di cui si riportano le caratteristiche:

Sigla	Scenario di Pericolosità Sismica Locale	Effetti	Ambito territoriale
Z2a-b	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti	Cedimenti	Settore meridionale del territorio comunale
	Zone con depositi granulari saturi	liquefazioni	
Z4a	Zona di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche	Settore corrispondente ai depositi fluviali e fluvioglaciali della pianura

Tabella 3: Scenari di pericolosità sismica locale nel comune di Linarolo

❖ **Z2a-b – Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti – Zone con depositi granulari fini saturi**

Questo scenario interessa la porzione di territorio al margine meridionale del Comune, ascrivibile al settore di fondovalle del Fiume Ticino-Po ed alle sue aree di immediata pertinenza idraulica. Il limite superiore è costituito dall'orlo di terrazzo fluviale, di altezza pari a circa 20 m, che separa i depositi terrazzati dai depositi fluviali e fluvio-glaciali della Pianura Padana.

Tale settore è interessato inoltre dalla vincolistica PAI (Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico) rappresentata dalle Fasce di Esondazione "A" e "B" .

L'area alluvionale è contraddistinta da un delicato equilibrio delle condizioni idrologiche ed idrauliche, in cui la falda sotterranea, estremamente superficiale, si trova in condizioni di comunicazione e scambio con il regime superficiale delle acque. Il grado di consistenza e di addensamento dei terreni superficiali presenti è teoricamente molto basso.

❖ **Zona Z4a - zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e coesivi**

Lo scenario Z4a rappresenta lo scenario maggiormente esteso sul territorio. Sulla base dell'analisi delle informazioni di natura stratigrafica, litologica e geotecnica il sottosuolo del territorio comunale risulta costituito nei primi 30 metri da ghiaie e sabbie alternate a litozone limose argillose che diventano più potenti spostandosi da nord a sud.

In corrispondenza di queste aree si possono verificare effetti di amplificazioni sismica legati alla natura litologica dei terreni, che può variare da sabbioso-limoso a sabbioso-ghiaioso, con tendenziale riduzione della granulometria da nord verso sud.

In corrispondenza delle zone caratterizzate dagli scenari Z4a, poiché, il Comune di Linarolo è stato classificato in classe sismica 3, si renderà obbligatorio il 2° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO di cui all'allegato 5 della D.G.R. n° IX/2616 per qualsiasi tipologia di costruzione.

Si richiede in fase di progettazione la valutazione dei parametri sismici dei terreni di fondazione per il calcolo delle V_{seq} e la classificazione del suolo secondo la normativa.

Nella fase di redazione della Tavola 1 "CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE" sono stati rappresentati i due scenari Z2a e Z4a.

Viste la suddivisione effettuata si ritiene idonea la rappresentazione della Carta della pericolosità sismica locale esclusivamente alla scala 1:10.000.

Gli scenari PSL individuati con l'analisi di primo livello sono stati anche riportati con appositi retini trasparenti nella Tavola n°3a-3b "CARTA DELLA FATTIBILITÀ GEOLOGICA", assegnando a ciascuno le prescrizioni opportune, con specifico riferimento a quanto riportato nelle NdA.

4.2. Analisi di 2° livello (fase pianificatoria)

L'analisi di 2° livello ha riguardato i seguenti scenari - individuati nel precedente paragrafo attraverso le procedure descritte:

- scenari qualitativi suscettibili di amplificazioni sismiche dovute ad effetti litologici - scenario Z4(a)

Lo scenario Z2a-b "Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti - Zone con depositi granulari saturi", non rientra in questa fase pianificatoria di II Livello in quanto andrà caratterizzato direttamente con uno studio di III Livello in fase progettuale.

Effetti litologici

Per quanto riguarda lo scenario Z4a, in questo studio si è proceduto alla individuazione della categoria di sottosuolo secondo la normativa sismica (D.G.R. 30 novembre 2011 n°9/2616), al calcolo del parametro V_{seq} e all'analisi e valutazione degli effetti sismici di sito, finalizzata alla definizione dell'aspetto sismico nei P.G.T. - 2°

livello di approfondimento sulla base di 2 indagini eseguite all'interno del territorio Comunale di Linarolo in corrispondenza di aree urbanizzate.

	AREA	Scenario di pericolosità sismica locale (PSL)
Linea 1– Comune di Linarolo	Ristrutturazione edilizia San Laeonardo	Z4a
Linea 2– Comune di Linarolo	Ampliamento scuola materna Linarolo	Z4a

Tabella 4- Aree caratterizzate dalla presenza di scenari suscettibili di amplificazioni sismiche dovute ad effetti litologici (scenario Z4a)

Attraverso un approccio di tipo semiquantitativo, l'analisi di secondo livello ha condotto alla stima della risposta sismica dei terreni in termini di Fattore di amplificazione (Fa). Come noto, la procedura adottata riferisce il valore del Fattore di amplificazione (Fa) calcolato agli intervalli di periodo compresi tra 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s, ovvero i due intervalli di periodo nei quali ricade il Periodo proprio delle tipologie edilizie più frequenti nel territorio regionale lombardo. In particolare, l'intervallo tra 0.1-0.5 s si riferisce a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide, mentre l'intervallo tra 0.5-1.5 s si riferisce a strutture più alte e più flessibili.

Per lo svolgimento dell'analisi e l'applicazione della metodologia si è reso necessario, con diverso grado di precisione, la conoscenza di una serie di parametri - base, quali:

- la litologia dei materiali presenti nel sito
- la stratigrafia del sito
- l'andamento delle Vs con la profondità fino a valori pari o superiori a 800 m/s
- lo spessore e la velocità delle onde di taglio di ciascun strato
- una sezione geologica e il conseguente modello geofisico - geotecnico
- l'identificazione dei punti rappresentativi sui quali effettuare l'analisi

Per quanto concerne i dati litologici, stratigrafici e geofisici - in termini di valori di Vs - utilizzati nella procedura di secondo livello, si è opportunamente valutata la scelta in funzione del grado di attendibilità assegnato a ciascun parametro utilizzato, secondo la tabella indicata nelle norme tecniche. Si sottolinea come per il presente studio l'attendibilità dei dati utilizzati risulti complessivamente "medio - alta".

Dati	Attendibilità	Tipologia
Litologici	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Alta	Da prove di laboratorio su campioni e da prove in sito
Stratigrafici	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Prove penetrometriche statiche (CPT)
	Alta	Da indagini dirette (sondaggi a carotaggio continuo)
Geofisici (Vs)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da prove indirette e relazioni empiriche
	Alta	Da prove dirette - sismica superficiale (M.A.S.W)

Tabella 5 - Livelli di attendibilità da assegnare ai risultati ottenuti dall'analisi (in giallo quelle eseguite)

Sulla base delle indagini sismiche di tipo M.A.S.W. Multi-Channel Analysis of Surface Waves realizzate (Linea 1-Linea 2), si è proceduto alla verifica richiesta dalla normativa.

Dalle prove M.A.S.W. si è discretizzato dal punto di vista sismico l'intervallo di sottosuolo sino a 30 metri di profondità, tenendo conto che la procedura richiede la definizione di un gradiente di velocità fino ad un valore non inferiore ad 800 m/s, valore convenzionalmente assimilato ad un substrato rigido.

Si riportano in allegato alla presente relazione i diagrammi originali dell'andamento delle onde di taglio Vs relative alle indagini sismiche tipo M.A.S.W. eseguite (Linea 1 – Linea 2).

Poiché tutte prove sismiche indirette M.A.S.W. sono collocate nelle aree urbane del territorio le risultanze possono essere associate ai modelli sismo - stratigrafici delle restanti porzioni di territorio, per quanto a destinazione agricola e quindi non urbanizzate e non urbanizzabili, stanti le previsioni del P.G.T..

La procedura utilizzata per la definizione degli scenari qualitativi suscettibili di amplificazioni sismiche dovute ad effetti litologici - scenario Z4(a) - fa riferimento ai dettami dell'All. 5 della D.G.R. n°9/2616/2011.

Le varie fasi di applicazione - dalla scelta dei dati di ingresso, alla loro elaborazione fino alle validazione dei valori di soglia (individuazione delle schede litologiche di riferimento, calcolo del Periodo proprio del sito T_s , scelta della curva più appropriata all'interno della matrice scheda valutazione nell'intervallo 0.1-0.5 s e nell'intervallo 0.5-1.5 s, calcolo del valore di F_a e confronto con il valore di soglia comunale) -, sono riassunte in allegato a fine testo alla presente relazione in forma tabellare (sviluppo dei calcoli e verifica). Per ognuno dei siti di indagine sono state quindi prodotte le relative serie di schede, precedute dall'interpretazione delle indagini sismiche M.A.S.W., da cui è stato calcolato il valore della $VS30$ del sito, consentendone la classificazione del territorio secondo le normative tecniche attualmente vigenti in materia di progettazione antisismica.

Relativamente ad ogni singolo stendimento sismico sono stati prodotti i seguenti elaborati:

- Registrazione sismica (sismogramma medio relativo alle energizzazioni relative ad ogni singolo stendimento Linea 1- Linea 2);
- Profilo di velocità delle onda di taglio (S) con la profondità;
- Spessori e velocità delle onda di taglio (S) dei singoli strati individuati con valore della V_{seq} calcolato del sito.

Il valore di F_a determinato è stato approssimato alla prima cifra decimale ed utilizzato per valutare il grado di protezione raggiunto al sito dall'applicazione della normativa sismica in termini di contenuti energetici, confrontando lo stesso valore di F_a ottenuto con i valori di soglia riportati nella banca dati regionale.

La procedura prevede infatti di valutare il valore di F_a con l'abaco di correlazione e di confrontarlo con il corrispondente valore di soglia, considerando una variabilità di ± 0.1 che tiene in conto della variabilità insita nella procedura semplificata.

Si possono presentare quindi due situazioni:

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

4.3. Modello geofisico

In riferimento alle indagini sismiche indirette di tipo attivo M.A.S.W. condotte sul territorio comunale (Linea 1- Linea 2), si riassume nella seguente tabella il modello geofisico.

Indagine geofisica	AREA	Vs30 (m/s)	Categoria di sottosuolo	Formazione geologica
Linea 1	Ristrutturazione edilizia San Leonardo	273.65	C	Depositi terrazzati (Alluvium antico)
Linea 2	Scuola materna - Linarolo	218.50	C	Fluviale Wurm

Tabella 6 - Categoria di sottosuolo derivante dalle prove geofisiche (D.M. 17.01.2018)

Sulla base delle misure dirette con metodologia MASW della velocità delle onde di taglio Vs negli strati superficiali di sottosuolo, si ottiene che le 2 aree indagate, ai sensi del D.M. 17.01.2018, appartengono alla categoria di sottosuolo di tipo C:

- suolo **tipo "C"** - "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente (VS,eq) compresi tra 180 m/s e 360 m/s"

4.4 . Valutazione dei fattori di amplificazione litologica (Fa) sito - dipendente e verifica dei risultati

Una volta determinata la Categoria di sottosuolo, facendo uso delle matrici associate alle schede litologiche di riferimento, è stato determinato per ciascun sito il periodo proprio (T) e quindi - scelte le funzioni di correlazione T/Fa da utilizzare -, calcolati i corrispondenti valori del Fattore di Amplificazione (Fa), con conseguente verifica dei risultati tra lo stesso valore di Fa ottenuto con i valori di soglia riportati nella banca dati regionale (soglie_lomb.xls).

Le tabelle sottostanti riportano i valori di Fa relativi, nel primo caso ad edifici bassi (massimo 4 piani), nel secondo caso ad edifici alti e flessibili (5 o più piani) per ogni tipo di suolo individuato dalla Regione Lombardia per il comune di Linarolo e del confinante Comune di Linarolo.

VALORI DI SOGLIA PER PERIODO COMPRESO TRA 0.1-0.5 s					
COMUNE	Attuale classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
LINAROLO	3	Suolo tipo B 1.4	Suolo tipo C 1.9	Suolo tipo D 2.2	Suolo tipo E 2.0

Tabella 7- Valori di soglia di Fa relativi ad edifici bassi

VALORI DI SOGLIA PER PERIODO COMPRESO TRA 0.1-0.5 s					
COMUNE	Attuale classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
LINAROLO	3	Suolo tipo B 1.7	Suolo tipo C 2.4	Suolo tipo D 4.2	Suolo tipo E 3.1

Tabella 8 - Valori di soglia di Fa relativi ad edifici alti

AREA	Valore di Fa calcolato nell'intervallo di periodo tra 0,1-0,5 s		Valore di Fa calcolato nell'intervallo di periodo tra 0,5-1,5 s	
	Valore	Verifica	Valore	Verifica
Ristrutturazione edilizia San Leonardo	1.20<1.9	verificato	1.95<2.4	verificato
Scuola materna Linarolo	1.15<1.9	verificato	1.95<2.4	verificato

Tabella 9- Valori di soglia di Fa calcolati e relativi limiti

Per l'intervallo di periodo compreso tra 0.1-0.5 secondi e 0,5÷1,5 secondi il valore di (Fa) calcolato con le procedure previste dalla d.g.r. n°9/2616/2011 risulta, nei 2 siti prescelti per gli approfondimenti di 2° livello, inferiore al valore di soglia comunale definito dalla normativa regionale. Pertanto il grado di protezione raggiunto al sito dalla normativa sismica vigente in termini di contenuti energetici è da considerarsi sufficiente in relazione ai possibili effetti di amplificazione litologica.

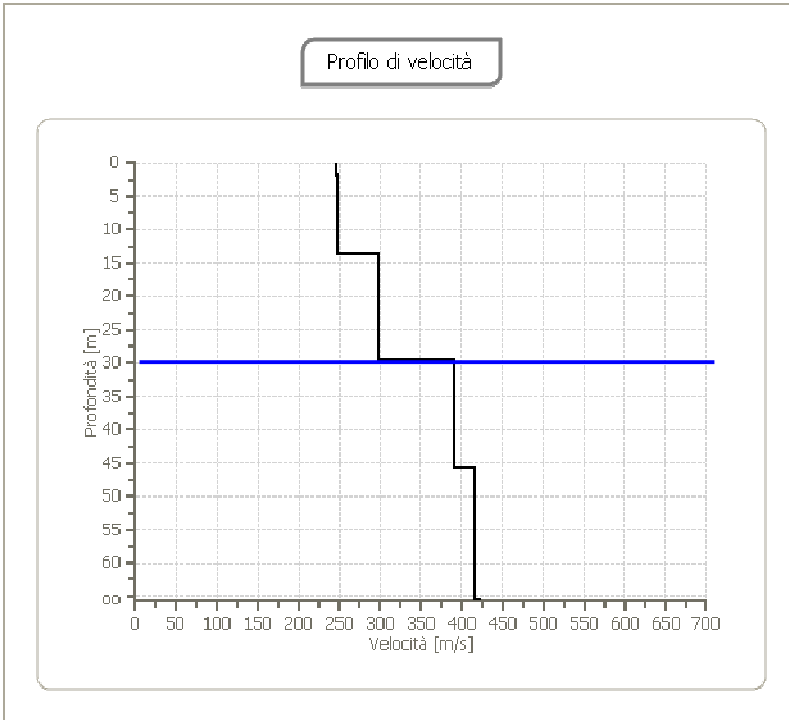
Giugno 2020

dott. geol. Gianluca Nascimbene



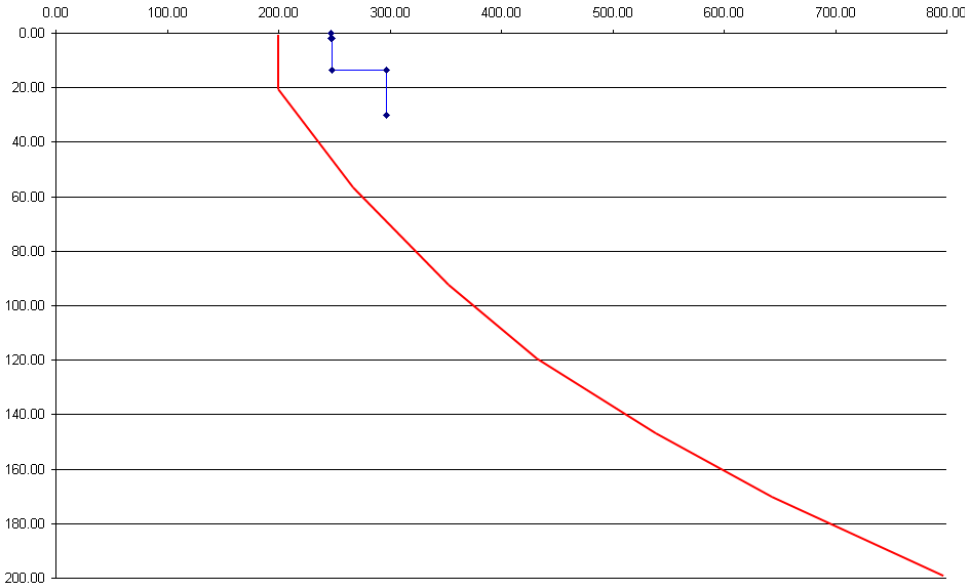
**2° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO SCENARI
QUALITATIVI SUSCETTIBILI DI
AMPLIFICAZIONI SISMICHE - EFFETTI
LITOLOGICI**

PROFILO DI VELOCITA' LINEA L1 – SAN LEONARDO



n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
1	1.85	1.85	246.97
2	13.62	11.77	248.07
3	29.60	15.98	297.74
4	45.78	16.18	389.70
5	65.57	19.79	415.28
6	oo	oo	424.06

Vseq=Vs30 [m/sec]	273.65
Categoria del suolo	C



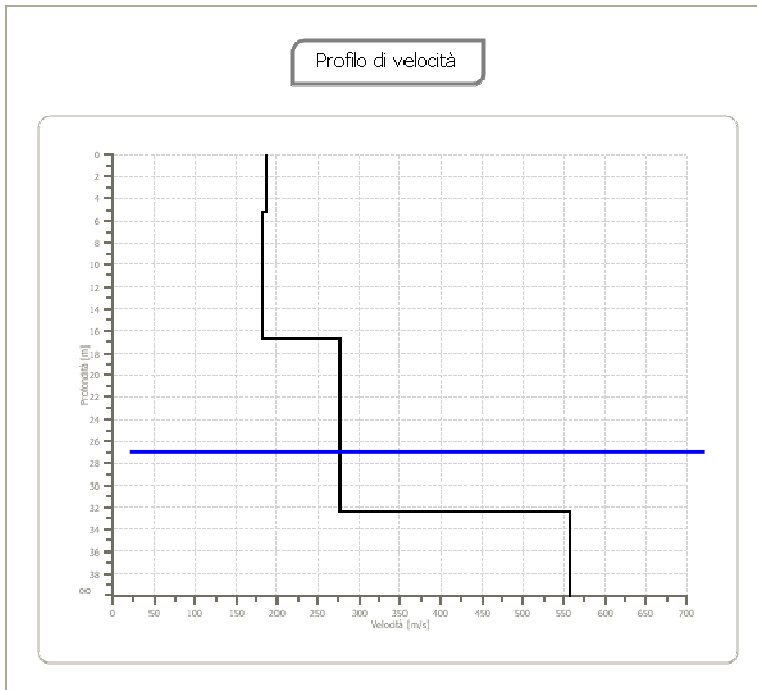
Sottosuolo di tipo C
 Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del Vs₃₀ compresi tra 180 m/s e 360 m/s

Grafico relativo al campo di validità della scheda litologica sabbiosa

Valore del periodo T calcolato
0,62 s

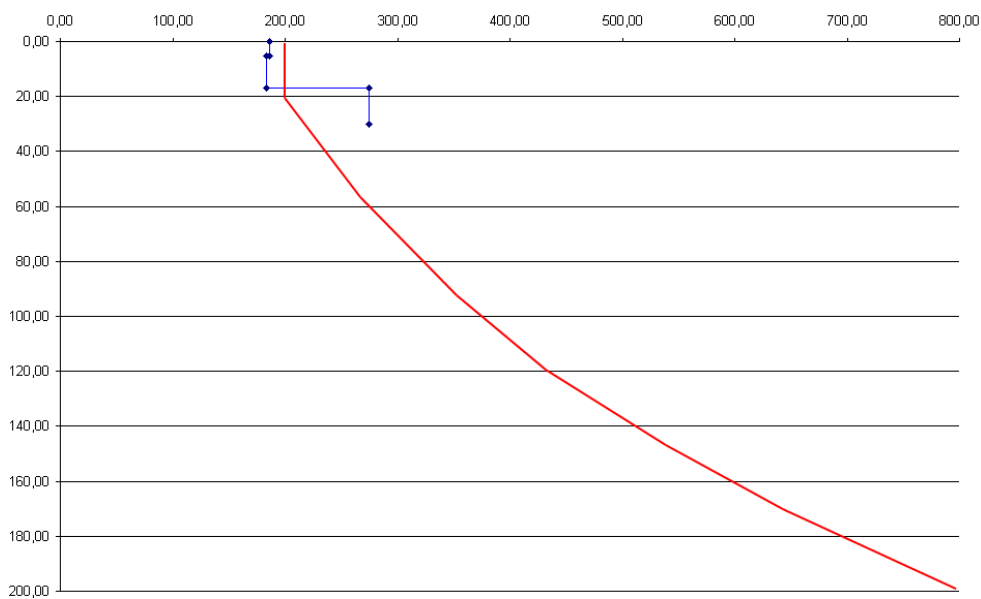
	Fa calcolato		Valore di soglia Fa per suoli di tipo C	
Edifici bassi (0,1-0,5 s)	1.20	<	1.90	Verificato
Edifici alti (0,5-1,5 s)	1.95	<	2.40	verificato

PROFILO DI VELOCITA' LINEA L2 – AMPLIAMENTO SCUOLA MATERNA



n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
1	5.23	5.23	186.71
2	16.76	11.53	182.96
3	32.45	15.69	275.87
4	∞	∞	557.98

Vseq=Vs30 [m/sec]	218.50
Categoria del suolo	C



Sottosuolo di tipo C
Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del Vs ₃₀ compresi tra 180 m/s e 360 m/s

Grafico relativo al campo di validità della scheda litologica sabbiosa

Valore del periodo
T calcolato
0,70 s

	Fa calcolato		Valore di soglia Fa per suoli di tipo C	
Edifici bassi (0,1-0,5 s)	1.15	<	1.90	Verificato
Edifici alti (0,5-1,5 s)	1.95	<	2.40	verificato