



COMUNE DI CASALGRANDE

PROVINCIA DI REGGIO NELL'EMILIA

VARIANTE PARZIALE AL RUE E AL PSC VIGENTE PER LA RIQUALIFICAZIONE URBANA DELL'AMBITO "BORGO MANZINI" (LOCALITÀ: BOGLIONI VIA A. MORO, VIA K. MARX)

- **RELAZIONE GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA**
- **RELAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI**
- **RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA E SULLA RISPOSTA SISMICA LOCALE**

PROPONENTI: Manzini Alberto, Melgi di Manzini Alberto & C. s.n.c., Manzini & Co. Srl

PROGETTISTA: Arch. MARCO GELSOMINO

settembre 2021

Dott. Geol. Francesco Dettori



Francesco Dettori

INDICE

1. PREMESSA	3
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3. RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA DI INQUADRAMENTO	4
3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	4
3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	5
3.3 IDROGRAFIA E IDROGEOLOGIA DELL'AREA	6
3.4 RISCHIO IDRAULICO: VERIFICA DI COMPATIBILITÀ CON LE CRITICITÀ IDRAULICHE DELL'AREA	7
3.4.1 NORMATIVA E PUBBLICAZIONI DI RIFERIMENTO	7
3.4.2 TAVOLE DI QUADRO CONOSCITIVO PER LA VALUTAZIONE DEI RISCHI DI ALLUVIONE. LE MAPPE DELLA PERICOLOSITÀ E DEL RISCHIO ALLUVIONE	8
3.4.3 PGRA RETICOLO SECONDARIO DI PIANURA: MAPPA DELLA PERICOLOSITÀ	8
3.4.4 PGRA RETICOLO SECONDARIO DI PIANURA: MAPPA DEL RISCHIO	9
3.4.5 DISPOSIZIONI SPECIFICHE PER LA RIDUZIONE DELLA VULNERABILITÀ E PER IL RISPETTO DEL PRINCIPIO DELL'INVARIANZA IDRAULICA	10
3.5 SALVAGUARDIA DELLE RISORSE IDRICHE E PROTEZIONE DELLE ACQUE SOTTERRANEE (PTCP)	11
3.6 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA	13
3.6.1 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE: SISMICITÀ DEL TERRITORIO	13
3.6.2 PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE E MICROZONAZIONE SISMICA	14
3.6.3 MICROZONAZIONE SISMICA – PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO	15
3.6.4 MICROZONAZIONE SISMICA – SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO	17
4. CARATTERIZZAZIONE DI DETTAGLIO DEL SITO MEDIANTE INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE	18
4.1 PROVE PENETROMETRICHE: ATTREZZATURA ED ELABORAZIONE	18
4.2 PROVA MICROTREMORE A STAZIONE SINGOLA: ATTREZZATURA ED ELABORAZIONE	18
5. RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA SULLE INDAGINI	20
5.1 MODELLO GEOLOGICO-LITOSTRATIGRAFICO DEL TERRENO	20
5.2 MODELLO GEOTECNICO E PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO	22
6. CARATTERIZZAZIONE SISMOSTRATIGRAFICA DEL SITO	23
6.1 RISULTATI INDAGINE GEOFISICA CON TECNICA HVSR	23
6.2 MODELLO SISMOSTRATIGRAFICO DEL TERRENO E CATEGORIA SISMICA DI SOTTOSUOLO AI SENSI DELLE NTC 2018	27
7. PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE - ANALISI DEL TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO	28
7.1 CALCOLO DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE	28
7.2 SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE	35
8. CONCLUSIONI GENERALI	36

1. PREMESSA

Su incarico della Committenza e in accordo con i Tecnici Progettisti si è eseguita la caratterizzazione geologica, geotecnica e di risposta sismica locale di un'area oggetto di variante parziale al RUE e al PSC vigente per la riqualificazione urbana dell'ambito "Borgo Manzini", ubicato in località Boglioni, tra via A. Moro e via K. Marx, nel Comune di Casalgrande (RE).

Supportato dall'analisi di indagini geognostiche e geofisiche di repertorio, il presente documento focalizza l'attenzione su quegli aspetti geologici e di pericolosità sismica del territorio che influenzano la propagazione delle onde sismiche e possono provocare fenomeni di instabilità e liquefazione dei terreni.

Per determinare le suddette caratteristiche sono stati raccolti tutti i dati e le informazioni precedentemente acquisiti in occasione di indagini di settore o per la predisposizione di strumenti di pianificazione, tra cui cartografie topografiche, geologiche, geomorfologiche, ecc. e i risultati di prove geognostiche e geofisiche effettuate specificamente per l'area di interesse.

Il documento è suddiviso nelle seguenti parti:

- 1) RELAZIONE GEOLOGICA e SISMICA di inquadramento riguardante la caratterizzazione e la modellazione geologica del sito, la caratterizzazione sismica dell'area;
- 2) RELAZIONE GEOTECNICA basata sulle indagini eseguite, la caratterizzazione e la modellazione del volume significativo di terreno interessato;
- 3) Relazione concernente la "RISPOSTA SISMICA DEL SITO" e verifica di possibili fenomeni cosismici di liquefazione e cedimento del terreno.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La presente relazione è stata eseguita in ottemperanza alle disposizioni contenute nelle normative di riferimento per il settore geologico e geotecnico e consultando gli strumenti di pianificazione comunale, provinciale e di bacino. Sono di seguito elencate le principali normative di riferimento:

- *Deliberazione della Giunta Regionale (DGR) n.2193/2015, Art.16 c.1, L.R. 20/2000. Approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica", di cui alla deliberazione dell'Assemblea legislativa 2 maggio 2007, n.112;*
- *Deliberazione della Giunta Regionale (DGR) n. 1919/2013 avente ad oggetto "Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione e concessione dei contributi di cui all'ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 52/2013 a favore degli enti locali".*
- *"Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e P.A. nel novembre 2008;*
- *L.R. 30 ottobre 2008, n. 19 "NORME PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO" e ss. mm. e ii.;*
- *Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018, che approva le NTC 2018;*
- *Associazione Geotecnica Italiana: "Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica". Linee Guida. Ed. Marzo 2005;*
- *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) – Autorità di Bacino Po, approvato con D.P.C.M. 24/05/2001;*

3. RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA DI INQUADRAMENTO

3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area di intervento è ubicata all'interno del centro abitato di Casalgrande, tra via Aldo Moro e Via Carlo Marx, in località Boglioni (**Figura 1a**).



Figura 1a: Area di interesse da foto aerea tratta Google Earth

Da un punto di vista topografico l'abitato di Casalgrande si trova in area di confine tra l'alta Pianura Padana e la zona pedecollinare dell'appennino emiliano. Il comparto è topograficamente posto alla quota compresa tra 95 e 100 m s.l.m., con un leggera pendenza verso nord-est. Dal punto di vista cartografico l'area in esame è compresa:

- nella sezione C.T.R. 219010 - denominata "Scandiano" in scala 1:10.000 (**figura 1b**).

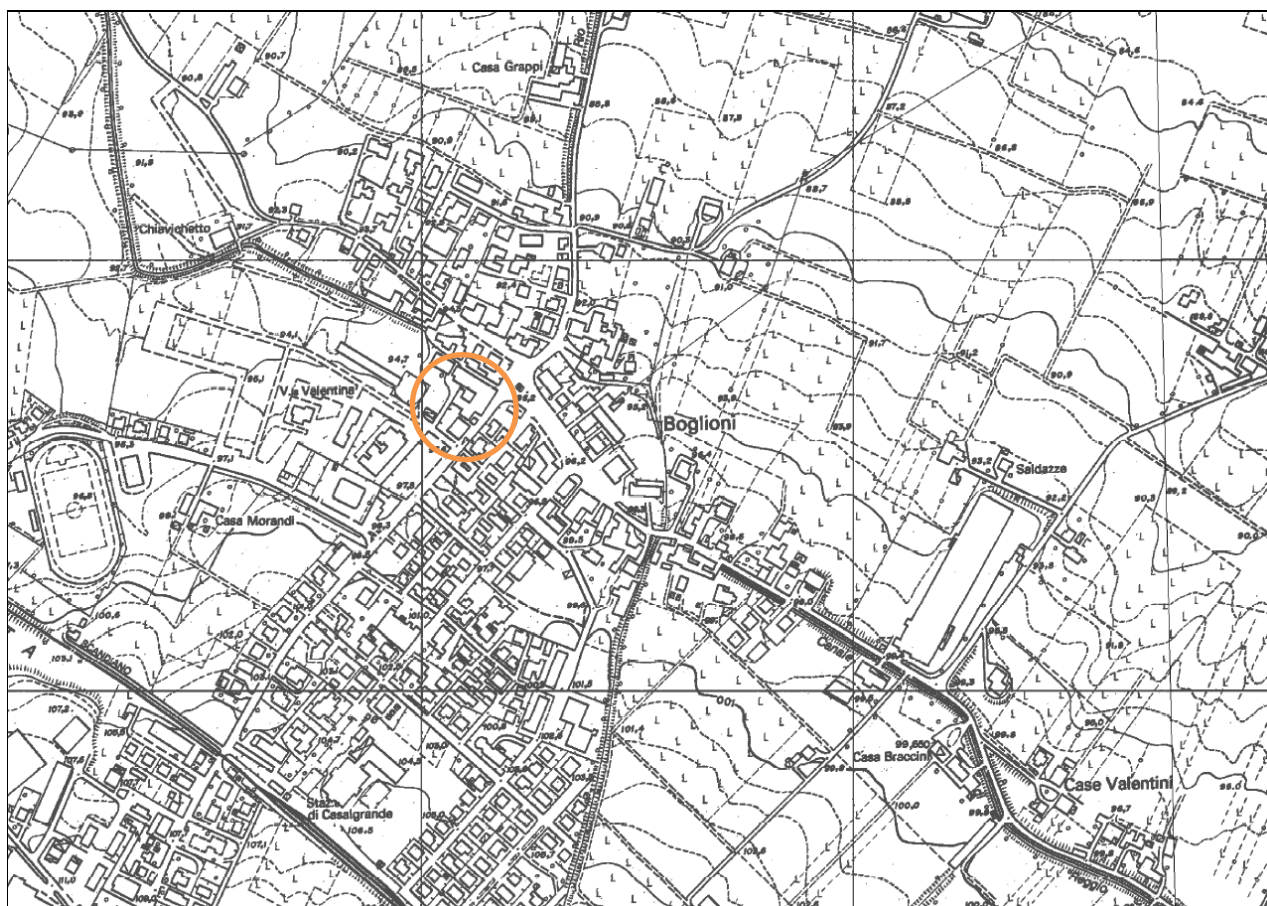


Figura 1b: Stralcio in scala 1:10000, tratto dalla Sezione CTR 219010 denominata "Scandiano"

3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Nell'alta pianura appenninica, esternamente alle aree occupate dal letto dei corsi d'acqua sia principali, sia minori, affiorano materiali alluvionali le cui classi granulometriche sono comprese tra quelle delle argille e quelle delle ghiaie. Le ghiaie costituiscono le conoidi dei corsi d'acqua sia principali che minori; esse sono predominanti in corrispondenza dello sbocco in pianura dei corsi d'acqua e si dispongono in lenti di estensione e spessore variabili. Talvolta sono ben selezionate, in altri casi si trovano commiste ad abbondanti porzioni limo-sabbiose. Lateralmente alle conoidi, come nell'area di interesse, si sviluppano strati di terreno a granulometria più fine sabbioso-limoso-argillosi, legati a episodi deposizionali a minore energia. Con minore frequenza le lenti di sedimenti fini possono essere interrotte da lenti ghiaiose di spessore ed estensione limitata.

La cartografia geologica e dei suoli, tratta dal Servizio Sismico e Geologico della Regione Emilia-Romagna (**Fig. n.2**), riporta per la zona in studio l'affioramento di:

Consociazione dei suoli (in superficie)

MFA3 - consociazione dei suoli MONTEFALCONE franco argillosi limosi, 0,5-2% pendenti: i suoli "Montefalcone franca argillosa limosa, 0,5-2% pendenti" sono molto profondi, non calcarei; sono neutri ed a tessitura franca argillosa limosa o franca argillosa nella parte superiore, da neutri a moderatamente alcalini ed a tessitura argillosa limosa in quella inferiore. I suoli "Montefalcone franca argillosa limosa, 0,5-2% pendenti" si trovano nella piana pedemontana, in ambiente di interconoide e sulla parte apicale delle conoidi alla base dei rilievi pedecollinari più antichi e rilevati. In queste terre la pendenza varia da 0,5 a 2%.

Formazione geologica (in profondità)

AES8 - Subsistema di Ravenna. Essa è costituita da "Limi sabbiosi e limi argillosi negli apparati dei torrenti minori o ghiaie in lenti entro limi, subordinate ghiaie e ghiaie sabbiose in quelli dei torrenti e

fiumi principali. A tetto suoli a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente fino a 150 cm e parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. Nell'alta pianura su AES7b (affiorante solo in cave). Potenza fino a oltre 20 m. Olocene (età radiometrica della base: 11.000 - 8.000 anni).

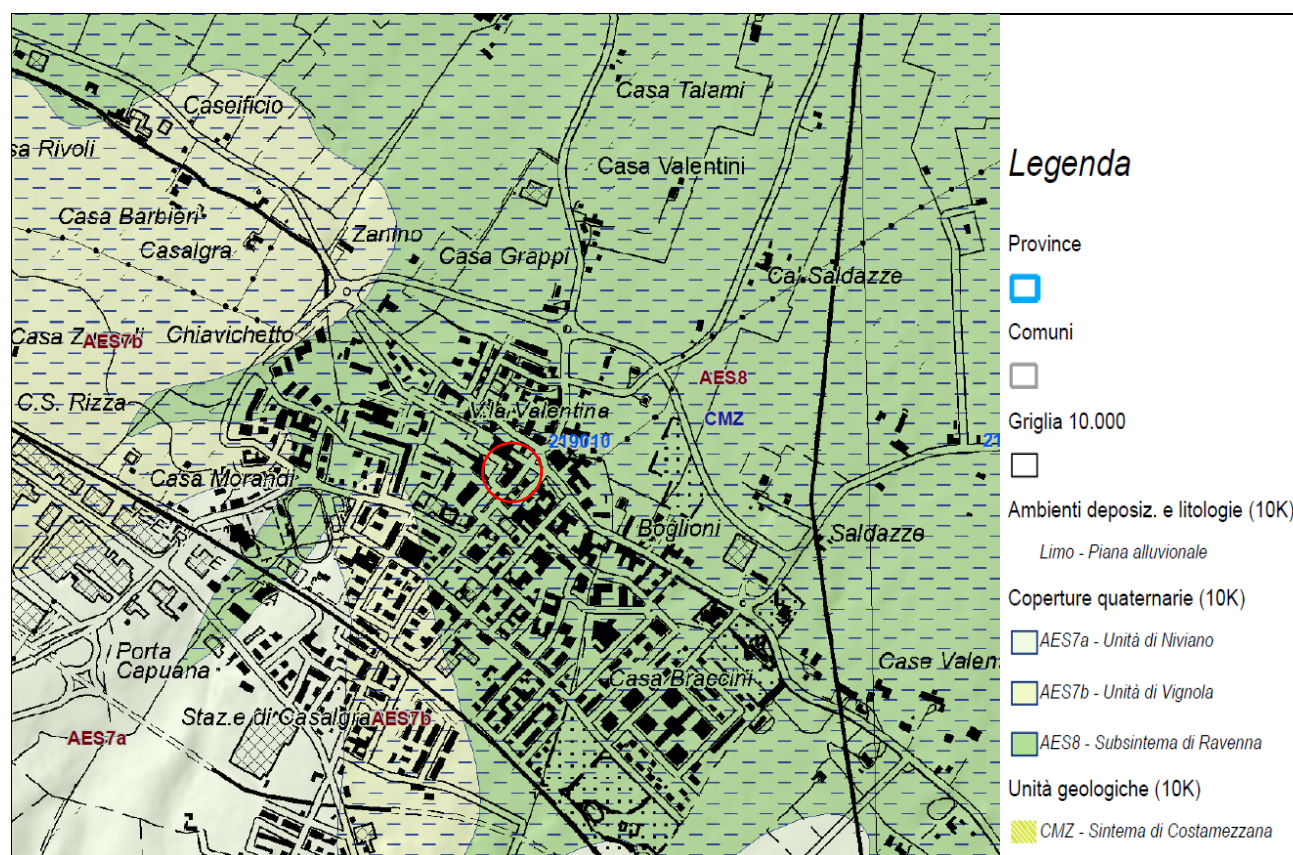


Figura 2: Carta Geologica tratta dal progetto CARG R.E.R. – stralcio in scala grafica

La morfologia della zona è caratterizzata dalla presenza di superfici piane o molto debolmente inclinate che si sviluppano uniformemente verso i quadranti nord-orientali. A scala ridotta si riconoscono aree di interconoide, a ridosso delle paleoconoidi più antiche, impostate su depositi fluviali a composizione prevalentemente fine, marginalmente interessate dall'apporto di sedimenti recenti ed attualmente incise dai corsi d'acqua del reticolo secondario. Le reincisioni costituiscono scarpate fluviali di spessore e pendenza variabile, con asse SW-NE. Tale morfologia è talvolta ben riconoscibile, in altri casi è ben celata dall'alternarsi delle colture e dall'insediamento antropico.

3.3 IDROGRAFIA E IDROGEOLOGIA DELL'AREA

L'area di interesse ricade nel bacino idrografico del corso d'acqua del Fiume Secchia, che corre a circa 2800 m in direzione est. A circa 1300 m in direzione ovest si trova il Rio Riazzone affluente del Torrente Tresinaro. A ridosso dell'area di interesse non si segnalano altri corsi d'acqua significativi a parte il Canale di Reggio (artificiale), che corre in direzione est-ovest raccogliendo le acque dei fossi e ruscelli minori ricadenti tra i due corsi d'acqua citati. Le acque vengono in parte destinate alle colture circostanti mediante canali di irrigazione, in parte sono convogliate nel Rio Riazzone.

Le caratteristiche idrogeologiche dell'area sono direttamente correlabili con le variazioni litologiche dei depositi alluvionali. Le alluvioni limo-argillose delle zone di interconoide costituiscono una barriera all'infiltrazione dell'acqua in profondità. Le acque di origine meteorica generalmente non oltrepassano gli strati di terreno "areato". Diversamente, in prossimità dei corsi d'acqua, si incontrano le conoidi ghiaiose, che data la loro elevata permeabilità, sono veicolo per le acque superficiali di origine

meteorica, che raggiungono velocemente la falda a pelo libero in profondità. Si possono riscontrare locali accumuli superficiali (falde sospese) sostenuti da lenti argilloso-limose.

Il livello di soggiacenza della falda freatica rilevata in pozzi limitrofi, catalogate dal Servizio Sismico e Geologico della Regione Emilia-Romagna e dall'Arpa Emilia-Romagna, sono comprese tra 20 e 40 m di profondità.

3.4 RISCHIO IDRAULICO: VERIFICA DI COMPATIBILITÀ CON LE CRITICITÀ IDRAULICHE DELL'AREA

Si è eseguita la valutazione delle caratteristiche di pericolosità e rischio riferibili al reticolo idrografico naturale presente in prossimità dell'edificio oggetto di intervento, con particolare riferimento al Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA), le cui disposizioni attuative sono contenute nel DGR 1300/2016.

Il PGRA, predisposto in ottemperanza della Direttiva Europea 2007/60/CE e del D.Lgs. 49/2010 (valutazione e gestione dei rischi di alluvioni), ha avuto il supporto di un Gruppo di Lavoro (Det. 3757/2011, D.G.R. 1244/2014) che ha prodotto, nell'ambito del quadro conoscitivo, una cartografia della pericolosità di alluvioni relativa al reticolo idrografico naturale e degli elementi potenzialmente esposti.

Nel presente documento è stata valutata la compatibilità del progetto edilizio nei confronti delle criticità idrauliche riscontrate, connesse principalmente allo studio della morfologia e della topografia, alla previsione e alla delimitazione di quelle che saranno le aree inondabili, alla presenza di ostacoli che possano ostacolare il regolare deflusso delle acque e alla presenza di superfici impermeabili.

A seconda delle criticità riscontrate saranno indicate le opportune misure per ridurre il danneggiamento dei beni e delle strutture oggetto di intervento.

3.4.1 NORMATIVA E PUBBLICAZIONI DI RIFERIMENTO

La presente relazione è stata eseguita in ottemperanza alle disposizioni contenute nelle normative di riferimento per il settore ambientale e consultando gli strumenti di pianificazione comunale, provinciale e di bacino. Sono di seguito elencate le principali normative di riferimento:

- *Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152, "Norme in materia ambientale";*
- *Legge 28 dicembre 2015, n. 221 "Disposizioni in materia ambientale per promuovere misure di green economy e per il contenimento dell'uso eccessivo di risorse naturali" ed in particolare l'art. 51 "Norme in materia di Autorità di bacino";*
- *Decreto Legislativo 23 febbraio 2010, n. 49, "Attuazione della Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni";*
- *Decreto Legislativo 10 dicembre 2010, n. 219, recante "Attuazione della direttiva 2008/105/CE relativa a standard di qualità ambientale nel settore della politica delle acque, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 82/176/CEE, 83/513/CEE, 84/156/CEE, 84/491/CEE, 86/280/CEE, nonché modifica della direttiva 2000/60/CE e recepimento della direttiva 2009/90/CE che stabilisce, conformemente alla direttiva 2000/60/CE, specifiche tecniche per l'analisi chimica e il monitoraggio dello stato delle acque";*
- *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino del fiume Po (in seguito PAI), adottato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino con deliberazione n. 18 del 26 aprile 2001, approvato con DPCM 4 maggio 2001;*
- *Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Delta del fiume Po (in seguito PAI Delta), adottato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino con deliberazione n. 5 del 19 luglio 2007, approvato con DPCM 13 novembre 2008;*

- *Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) di Reggio Emilia relative all'attuazione del "Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino del fiume Po" (PAI);*
- *Decreto Giunta Regionale dell'Emilia Romagna 1300/2016 "Prime disposizioni regionali concernenti l'attuazione del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni con particolare riguardo alla pianificazione di emergenza, territoriale ed urbanistica, ai sensi dell'art. 58 dell'Elaborato n. 7 (Norme di Attuazione) e dell'art.22 dell'Elaborato n. 5 (Norme di Attuazione) del "Progetto di Variante al Piano stralcio per l'assetto idrogeologico del bacino del fiume Po (PAI) e al Piano stralcio per l'assetto idrogeologico del Delta del fiume Po (PAI Delta)", adottato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di bacino del fiume Po, con deliberazione n. 5 del 17/12/2015;*
- *Autorità di Bacino del Fiume Po e dell'Università degli studi di Pavia (febbraio 2009): "EDIFICI IN AREE A RISCHIO DI ALLUVIONE. COME RIDURNE LA VULNERABILITÀ".*

3.4.2 TAVOLE DI QUADRO CONOSCITIVO PER LA VALUTAZIONE DEI RISCHI DI ALLUVIONE. LE MAPPE DELLA PERICOLOSITÀ E DEL RISCHIO ALLUVIONE

In epoche diverse e a vari livelli di pianificazione (provinciale, comunale e di bacino) sono state prodotte una serie di mappe per la valutazione della pericolosità e del rischio di alluvioni del territorio di pianura. Strumento cardine per la valutazione e la gestione del rischio sono le mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni (art. 6 D.Lgs. 49/2010 e art. 6 Dir. 2007/60/CE). Le mappe della pericolosità rappresentano l'estensione potenziale delle inondazioni causate dai corsi d'acqua (naturali e artificiali) e dal mare, con riferimento a tre scenari (alluvioni rare, poco frequenti e frequenti) rappresentati con tre diverse tonalità di blu, associando al diminuire della frequenza di allagamento il diminuire dell'intensità del colore. Le mappe della pericolosità di alluvioni sono redatte per tre ambiti: reticolo naturale (principale e secondario), reticolo secondario di pianura (canali artificiali di bonifica) e aree costiere marine.

Le mappe del rischio indicano la presenza degli elementi potenzialmente esposti (popolazione coinvolta, servizi, infrastrutture, attività economiche, etc.) che ricadono nelle aree allagabili e la corrispondente rappresentazione in 4 classi da molto elevata (R4) a moderata o nulla (R1). Le 4 categorie di rischio sono rappresentate mediante una serie di colori che va dal giallo (rischio moderato o nullo) al viola (rischio molto elevato), passando per l'arancione (rischio medio) e il rosso (rischio elevato).

Per l'area di interesse si riportano solo le mappe del reticolo secondario in quanto il reticolo principale ha come elemento di pericolosità il solo fiume Secchia, che ricade a quote e distanza non influenti con il comparto oggetto di studio.

3.4.3 PGRA RETICOLO SECONDARIO DI PIANURA: MAPPA DELLA PERICOLOSITÀ

La cartografia rappresenta la pericolosità di alluvioni relativa al reticolo secondario di pianura artificiale (canali di bonifica) e degli elementi potenzialmente esposti. La perimetrazione delle aree potenzialmente allagabili è stata effettuata con riferimento a due scenari: alluvioni frequenti (per tempi di ritorno fino a 50 anni) e alluvioni poco frequenti (per tempi di ritorno fino a 200 anni). Il metodo di individuazione delle aree soggette ad alluvioni è di tipo prevalentemente storico-inventariale e si è sviluppato a partire dai dati e dalle informazioni sugli eventi avvenuti orientativamente in epoca successiva al 1990 censiti dai Consorzi di Bonifica.

A questa tipologia di aree si aggiungono limitate zone individuate mediante modelli idrologico-idraulici (metodo completo) e aree delimitate sulla base del giudizio esperto degli enti gestori (metodo conoscitivo) in relazione alla generale incapacità del reticolo di far fronte ad eventi di precipitazione caratterizzati da Tr superiori (in media) a 50 anni: in questo caso (alluvioni poco frequenti), le aree perimetrate coincidono con gran parte dei settori di pianura dei bacini idrografici.

Le mappe di pericolosità non tengono conto della possibilità che si verifichino rotture arginali o malfunzionamenti degli impianti di sollevamento e delle opere di gestione delle piene (chiaviche, paratoie, ecc.). Si riporta uno stralcio della carta con evidenziata l'area di interesse (**Figura 3a**).

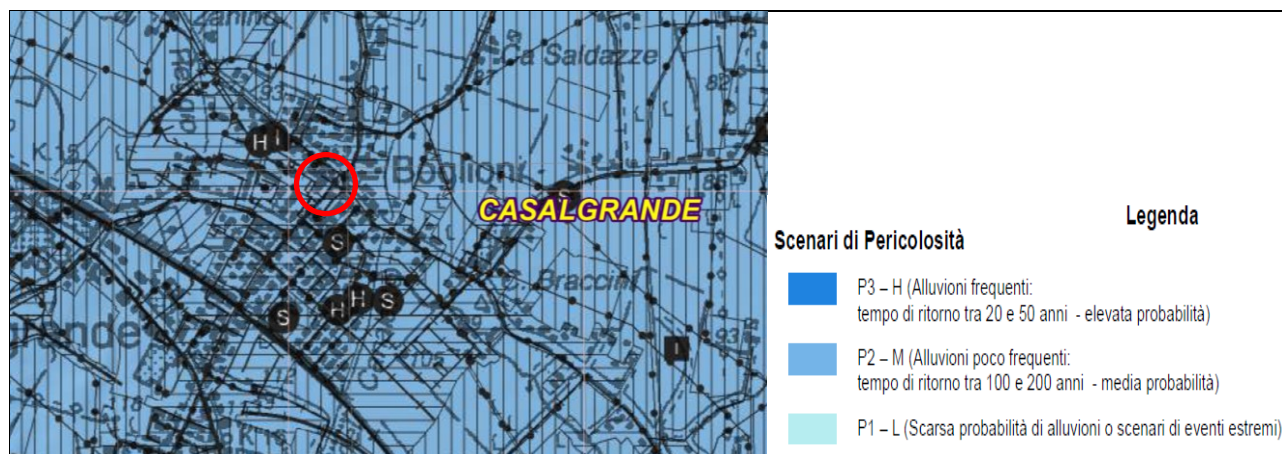


Figura 3a: Mappa della pericolosità del reticolo secondario di pianura – PGRA – stralcio in scala grafica

Come si evince dalla scala cromatica la porzione di territorio di interesse ricade interamente su aree caratterizzate da alluvioni poco frequenti, aventi tempi di ritorno tra 100 e 200 anni (P2-M).

3.4.4 PGRA RETICOLO SECONDARIO DI PIANURA: MAPPA DEL RISCHIO

Il rischio tiene conto della pericolosità e del danno potenziale inteso come prodotto della vulnerabilità per il valore del bene esposto, secondo l'equazione: $\text{Rischio} = \text{Pericolosità} \times \text{Valore bene esposto} \times \text{Vulnerabilità}$.

La mappa del rischio che segue, basata sull'equazione appena descritta, riporta la seguente situazione (**Figura 3b**).

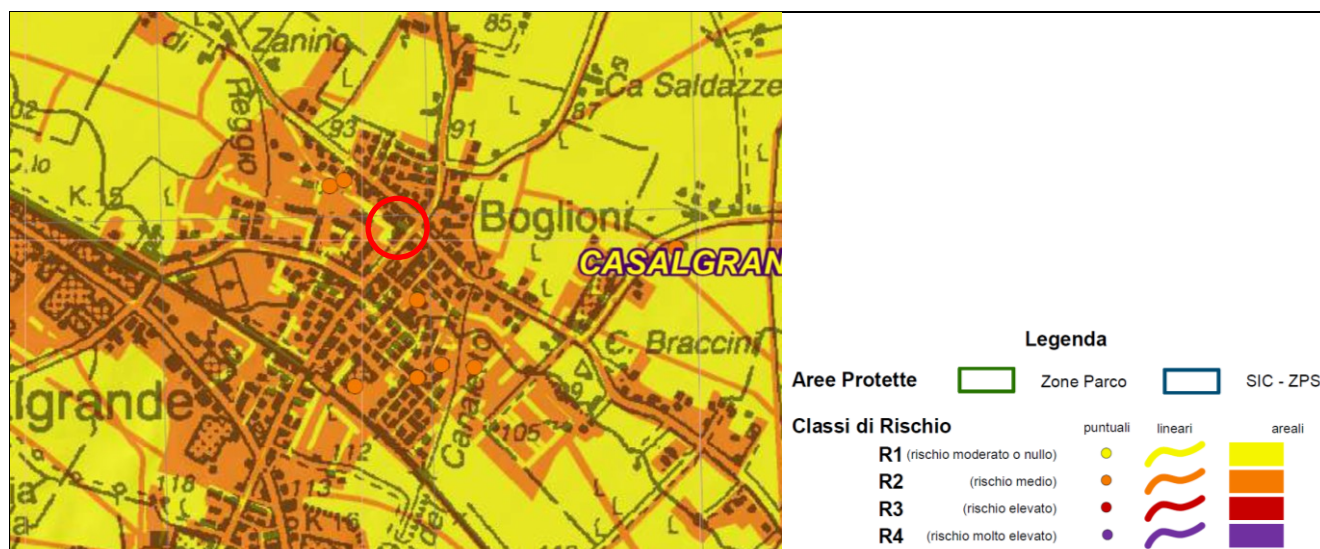


Figura 3b: Mappa del rischio del reticolo secondario di pianura – PGRA – stralcio in scala grafica

Come si evince dalla scala cromatica gli scenari di pericolosità molto elevata (R4) ed elevata (R3) non compaiono nella mappa. Lo scenario di rischio medio (R2) coinvolge tutti i centri abitati, le frazioni, gli agglomerati rurali e la maggior parte degli edifici rurali. La restante parte di territorio è caratterizzata da un rischio moderato o nullo (R1). Per il rischio medio (R2), in cui ricade la quasi totalità dell'area di interesse, sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche.

3.4.5 DISPOSIZIONI SPECIFICHE PER LA RIDUZIONE DELLA VULNERABILITÀ E PER IL RISPETTO DEL PRINCIPIO DELL'INVARIANZA IDRAULICA

In relazione alle caratteristiche di pericolosità e rischio descritte nei paragrafi precedenti, con riferimento alle criticità rilevate nello studio di dettaglio, sono da adottarsi misure di riduzione della vulnerabilità dei beni e delle strutture esposte, anche ai fini della tutela della vita umana, e misure volte al rispetto del principio dell'invarianza idraulica, finalizzate a salvaguardare la capacità ricettiva del sistema idrico e a contribuire alla difesa idraulica del territorio.

Nell'ambito dei procedimenti inerenti richiesta/rilascio di permesso di costruire e/o segnalazione certificata di inizio attività, si riportano quindi alcuni accorgimenti utili per la mitigazione del rischio e che devono essere assunti in sede di progettazione al fine di garantire la compatibilità degli interventi con le condizioni di pericolosità rilevate:

1. la quota minima del primo piano utile dell'edificio deve essere all'altezza sufficiente a ridurre la vulnerabilità del bene esposto e adeguata al livello di pericolosità ed esposizione;
2. nel caso si volesse/dovesse portare la quota del primo piano utile ad una altezza inferiore saranno da assumersi comunque i seguenti accorgimenti:
 - le pareti perimetrali e il solaio di base siano realizzati a tenuta d'acqua;
 - vengano previste scale/rampe interne di collegamento tra il piano dell'edificio potenzialmente allagabile e gli altri piani (se presenti);
 - siano evitati nella costruzione intercapedini non accessibili, vespai areati non visitabili e sia curata la rete di drenaggio esterna all'edificio;
 - gli impianti elettrici siano realizzati con accorgimenti tali da assicurare la continuità del funzionamento dell'impianto anche in caso di allagamento;
 - le aperture siano a tenuta stagna e/o provviste di protezioni idonee;
 - le rampe di accesso siano provviste di accorgimenti tecnico-costruttivi (dossi, sistemi di paratie, etc);
 - siano previsti sistemi di sollevamento delle acque da ubicarsi in condizioni di sicurezza idraulica.
3. favorire il deflusso/assorbimento delle acque di esondazione, evitando interventi che ne comportino l'accumulo ovvero che comportino l'aggravio delle condizioni di pericolosità/rischio per le aree circostanti. Nel caso specifico saranno da assumersi i seguenti accorgimenti:
 - evitare barriere sulle aree circostanti l'edificio che ostacolano il defluire dell'acqua;
 - evitare di impermeabilizzare le aree circostanti l'edificio. Saranno da preferire la posa di pavimentazioni drenanti.

A completamento delle precedenti indicazioni si attesta che l'intervento proposto non crea modifiche del sistema idraulico nell'area oggetto d'intervento.

3.5 SALVAGUARDIA DELLE RISORSE IDRICHE E PROTEZIONE DELLE ACQUE SOTTERRANEE (PTCP)

Il Piano territoriale di coordinamento provinciale (PTCP) redatto ai sensi della L.R. 20/2000 definisce l'assetto del territorio con riferimento agli interessi sovracomunali, articolando sul territorio provinciale le linee di azione della pianificazione e programmazione regionale, nazionale e di bacino. Relativamente al sistema dei vincoli e delle tutele, in relazione alle caratteristiche di vulnerabilità, criticità e potenzialità delle singole parti e dei sistemi naturali ed antropici del territorio, si riferisce che per l'area di interesse NON sono presenti "Zone di tutela dei caratteri ambientali di laghi, bacini e corsi d'acqua" (Art. 40, ex art. 11).

Per quanto attiene la tutela qualitativa e quantitativa delle risorse idriche superficiali e sotterranee, l'area ricade invece nelle "Zone di protezione delle acque sotterranee nel territorio di pedecollina-pianura" (Art. 82), per cui sono previste la tutela qualitativa e quantitativa delle risorse idriche sotterranee, in riferimento all'utilizzo idropotabile delle medesime.

Come si evince dalla Carta delle tutele delle acque sotterranee e superficiali (P10a) in scala 1:25.000 (**figura n.4**), l'area rientra nel **Settore B** ovvero in aree caratterizzate da ricarica indiretta della falda, generalmente comprese tra la zona A e la media pianura, idrogeologicamente identificabili come sistema debolmente compartimentato in cui alla falda freatica superficiale segue una falda semiconfinata in collegamento per drenanza verticale.

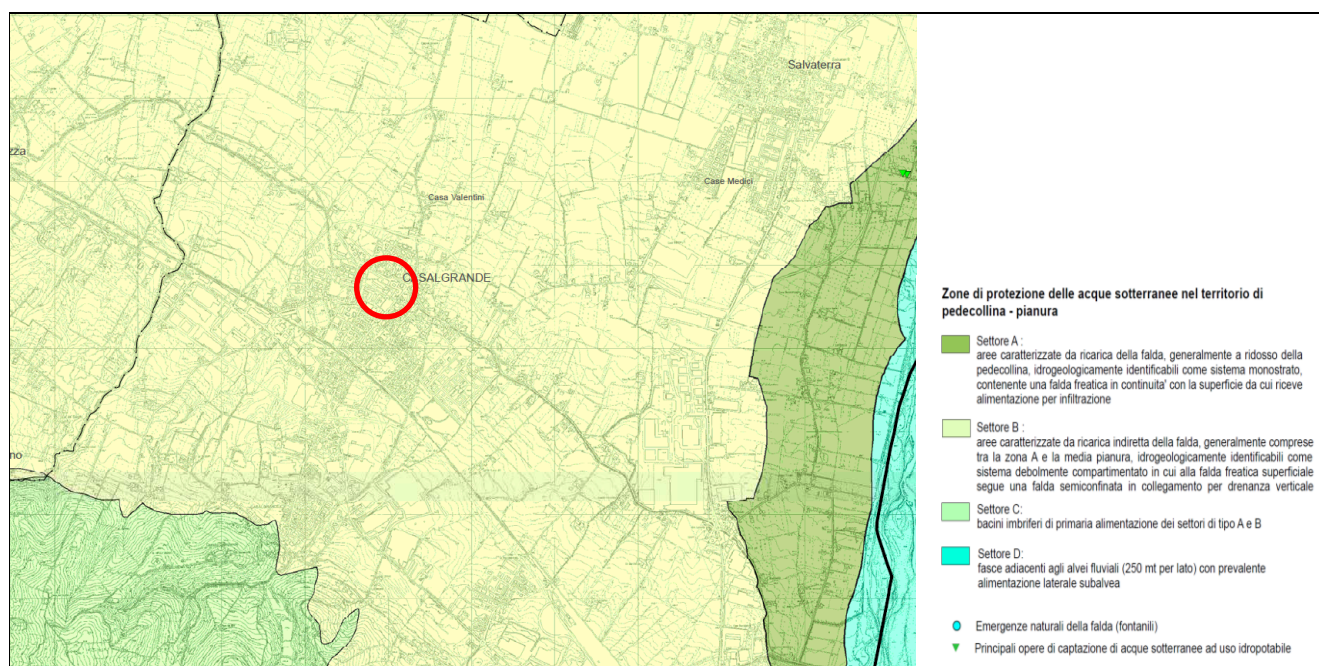


Figura 4: Carta delle tutele delle acque sotterranee e superficiali – PTCP, stralcio in scala grafica

Nei settori di ricarica di tipo A, B, C, e D vanno rispettate le disposizioni dell'art. 45 delle norme del PTA e valgono le disposizioni generali e per settore rivolte al risparmio idrico di cui all'art. 85 e dell'art. 82 delle norme di attuazione del PTCP.

I Comuni in sede di formazione e adozione degli strumenti urbanistici generali o di varianti di adeguamento al presente Piano, recepiscono le direttive a seconda delle classi di infiltrazione potenziale comparativa alta, media e bassa, come riportate nella tav. P10c (**figura 5**).

Nel caso in questione, la **classe di infiltrazione media**, prevede la disciplina sulla prevenzione, messa in sicurezza o riduzione del rischio relativa ai centri di pericolo di cui all'art. 45, comma 2, lett. a2) delle norme del PTA, riportata e dettagliata all'Allegato 9 delle norme.

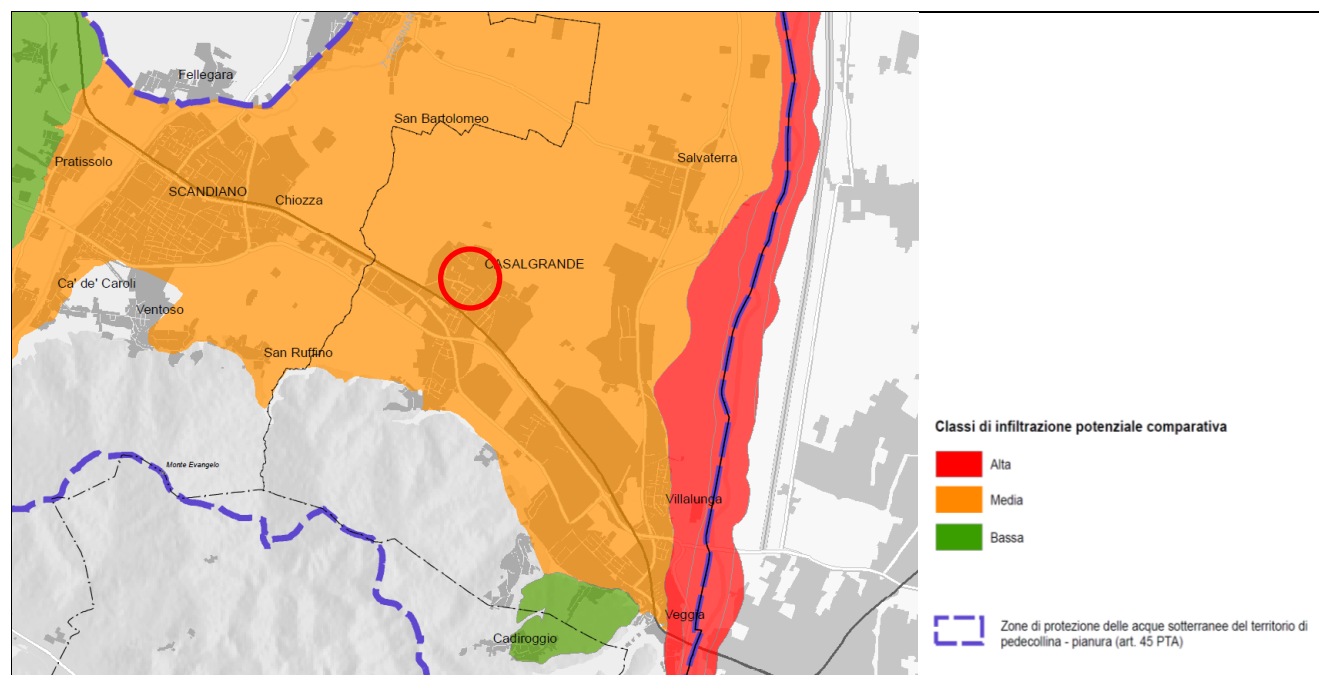


Figura 5: Carta dell'infiltrazione potenziale comparativa per la pianificazione urbanistica comunale – PTCP, stralcio in scala grafica

Inoltre, per la classe di infiltrazione media, i nuovi sistemi fognari pubblici e quelli realizzati dai soggetti attuatori degli interventi previsti dalla pianificazione urbanistica comunale devono essere realizzati con tecnologie e materiali atti a garantirne la tenuta, con particolare riferimento al collegamento tra il collettore e i pozzetti d'ispezione, al fine di precludere ogni rischio d'inquinamento. Le medesime garanzie costruttive debbono essere riservate anche agli altri manufatti in rete (es. impianti di sollevamento ecc.) e alle strutture proprie degli impianti di depurazione. Per tutte le reti ed i manufatti fognari pubblici dovrà essere prevista una verifica della tenuta idraulica. I regolamenti urbanistici comunali dovranno contenere disposizioni in tal senso.

3.6 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA

La componente pericolosità del rischio sismico dipende:

- dalle caratteristiche sismiche dell'area, cioè dalle sorgenti sismiche, dall'energia, dal tipo e dalla frequenza dei terremoti; questi aspetti sono comunemente indicati come "pericolosità sismica di base";
- dalle caratteristiche geologiche e morfologiche del territorio, in quanto alcuni depositi e forme del paesaggio possono modificare le caratteristiche del moto sismico in superficie e costituire aspetti predisponenti al verificarsi di effetti locali quali fenomeni di amplificazione o di instabilità dei terreni (cedimenti, frane, fenomeni di liquefazione); questi aspetti sono comunemente indicati come "pericolosità sismica locale".

3.6.1 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE: SISMICITÀ DEL TERRITORIO

La pericolosità sismica di base, intesa in senso probabilistico, è lo scuotimento del suolo atteso in un dato sito con una certa probabilità di eccedenza in un dato intervallo di tempo, ovvero la probabilità che un certo valore di scuotimento si verifichi in un dato intervallo di tempo.

Questo tipo di stima si basa sulla definizione di una serie di elementi di input (quali catalogo dei terremoti, zone sorgente, relazione di attenuazione del moto del suolo, ecc.) e dei parametri di riferimento (scuotimento in accelerazione o spostamento, tipo di suolo, finestra temporale, ecc.).

La zonazione sismogenetica del territorio nazionale, chiamata ufficialmente ZS9, che identifica le zone sorgente a caratteristiche sismiche omogenee, elaborata da I.N.G.V. (2003), colloca l'area in oggetto nella zona sismogenetica **913**, ovvero in prossimità della zona sismogenetica 912. Le zone 913 e 912 sono quelle con un potenziale sismico tale da generare effetti non trascurabili nel territorio di interesse. Altre zone sismogenetiche al contorno vengono considerate poco influenti pur generando terremoti con magnitudo a volte anche elevata (ad es. la zona 915).

Le citate zone sono principalmente collegate a meccanismi focali compressivi e trascorrenti, che si originano dal margine appenninico sino alla Dorsale Ferrarese e, seppur in modo subordinato, della sismicità della zona subalpina. Risultano secondari e subordinati i meccanismi focali distensivi.

Gli eventi sismici di maggiore intensità per l'area di interesse si sono verificati nel territorio reggiano, parmense, frignano, modenese, la pianura emiliana e la Lunigiana, con ipocentri concentrati prevalentemente nei primi 10/15 km del sottosuolo (attività sismogenetica di tipo superficiale); la distribuzione degli ipocentri focali che si generano tra -15 e -40 km dal piano campagna, è simile a quella più superficiale ma contraddistinta da intensità e frequenza inferiori.

L'Ordinanza PCM 3519/2006 ha indicato i Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone. A tale ordinanza è allegata la Mappa di Pericolosità Sismica di riferimento a scala nazionale (progetto DPC-INGV-S1) nella quale è possibile verificare che il territorio di interesse è compreso nell'area caratterizzata da valori dell'accelerazione massima al suolo (a_{max}), con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli molto rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat. A, All. 2, 3.1), **compresi tra 0,150 e 0,175 g**.

La Regione Emilia-Romagna, in data 02-05-2007, ha approvato la Del. n. 112 "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica."; in All. A4 sono riportati i valori di accelerazione max, espressa sempre in frazione dell'accelerazione di gravità g (a_{refg}), per ogni comune della Regione. Per il Comune di **Casalgrande** risulta **$a_{refg}=0,162$** .

Con l'aggiornamento apportato dalla DGR n.2193/2015 la Regione Emilia-Romagna ha disposto che la pericolosità sismica sia valutata a partire dai valori di a_{refg} elaborati da INGV per il territorio nazionale, resi disponibili per il territorio regionale sui punti di una griglia con passo 0,05 gradi, e disponibili nel sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, tema "Sismica – Microzonazione Sismica". Il valore di a_{refg} relativo al sito analizzato si ottiene interpolando i valori di a_{refg} definiti nei punti della griglia



più prossimi al sito oppure utilizzando il valore del punto della griglia più vicino. A tal riguardo, per il sito di interesse si è ottenuto il valore **arefg=0,162**.

Le Nuove NTC (2018), col sostegno dei risultati del progetto S1-INGV, consentono di definire la pericolosità sismica di base attraverso le forme spettrali per differenti periodi di ritorno T_R , a iniziare dai valori dei parametri:

a_g accelerazione orizzontale massima;

F₀ valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_c* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per la definizione della pericolosità si fa riferimento a 4 stati limite per l'azione sismica (SLO, SLD, SLV, SLC), al cui crescere fanno corrispondere una progressiva crescita del danneggiamento dell'insieme di struttura, elementi non strutturali ed impianti. A seconda delle caratteristiche prestazionali richieste alla generica costruzione si possono ricavare l'accelerazione del suolo a_g e le forme dello spettro di risposta di progetto per ciascun sito, costruzione, situazione d'uso, stato limite.

A partire dalle coordinate geografiche e caratteristiche prestazionali del manufatto di interesse, facendo riferimento alla media pesata dei valori che si riferiscono a quattro punti del reticolo che comprendono l'area in oggetto (coordinate espresse in ED50):

latitudine: 44,590276

longitudine: 10,739863

Classe: 2

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 16277 Lat: 44,6017 Lon: 10,6826 Distanza: 4713,333

Sito 2 ID: 16278 Lat: 44,6034 Lon: 10,7527 Distanza: 1775,664

Sito 3 ID: 16500 Lat: 44,5534 Lon: 10,7550 Distanza: 4273,205

Sito 4 ID: 16499 Lat: 44,5518 Lon: 10,6849 Distanza: 6107,753

si è potuto risalire ai seguenti valori dei parametri e agli spettri di risposta per diversi stati limite:

Operatività (SLO):			Danno (SLD):		
Probabilità di superamento:	81	%	Probabilità di superamento:	63	%
Tr:	30[anni]		Tr:	50[anni]	
ag:	0,051 g		ag:	0,064 g	
Fo:	2,478		Fo:	2,491	
Tc*:	0,251 [s]		Tc*:	0,265 [s]	
Salvaguardia della vita (SLV):			Prevenzione dal collasso (SLC):		
Probabilità di superamento:	10	%	Probabilità di superamento:	5	%
Tr:	475[anni]		Tr:	975[anni]	
ag:	0,163 g		ag:	0,205 g	
Fo:	2,376		Fo:	2,386	
Tc*:	0,289 [s]		Tc*:	0,303 [s]	

3.6.2 PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE E MICROZONAZIONE SISMICA

Le azioni sismiche definite in precedenza su scala territoriale possono assumere, anche a distanze di poche decine di metri, caratteristiche differenti in funzione delle diverse condizioni geologiche che caratterizzano un dato ambito locale (morfologia superficiale, morfologia del substrato roccioso sepolto, presenza e profondità della falda freatica, costituzione e proprietà del sottosuolo, presenza di faglie, ecc.). Si possono così avere effetti temporanei, che cessano quando cessa il terremoto (es. amplificazione del moto sismico), e, in caso di forti terremoti, modifiche permanenti del paesaggio (frane, rotture del terreno, cedimenti, ecc.).



La microzonazione sismica si propone di studiare e valutare quantitativamente l'influenza che le condizioni geologiche locali hanno sui movimenti del suolo durante un evento sismico.

L'elemento base della microzonazione sismica è la valutazione della "risposta sismica locale" (RSL). Con tale termine s'intende l'insieme delle modifiche in intensità, ampiezza e frequenza, che un moto sismico relativo ad una formazione rocciosa di base (bedrock), posta ad una certa profondità nel sottosuolo, subisce attraverso gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie.

La microzonazione sismica è quindi uno strumento di riduzione del rischio che si attua nel rispetto di specifiche normative nazionali e regionali e che viene applicato fino dalle prime fasi della pianificazione urbanistica.

Gli aspetti e i principi fondamentali degli studi di MS sono:

- 1) definizione degli scenari di pericolosità sismica locale, cioè identificazione delle parti di territorio suscettibili di effetti locali (amplificazione del segnale sismico, cedimenti, instabilità dei versanti, fenomeni di liquefazione, rotture del terreno, ecc.);
- 2) suddivisione del territorio in zone a diversa pericolosità sismica locale e stima quantitativa della risposta sismica locale dei depositi e delle morfologie presenti nelle aree indagate ("Microzonazione Sismica", MS);
- 3) tre livelli di approfondimento a seconda delle finalità e delle condizioni di pericolosità sismica locale;
- 4) gli studi di MS fanno riferimento ad un periodo di ritorno dell'evento atteso di 474 anni (probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni).

Gli studi di Microzonazione Sismica (MS) consentono quindi di caratterizzare il territorio in base alla risposta sismica locale, cioè al comportamento del terreno durante e dopo il terremoto, individuando e delimitando le aree a comportamento omogeneo, distinguendo tra:

- zone stabili,
- zone suscettibili di amplificazione del moto sismico,
- zone soggette a instabilità, quali frane, fratturazioni superficiali e liquefazioni.

La Regione Emilia-Romagna per la programmazione territoriale e di pianificazione territoriale ed urbanistica ha recepito i numerosi studi di microzonazione sismica finora realizzati, tra cui lo Studio di microzonazione sismica di II livello del Comune di **Casalgrande**, effettuato dallo studio di geologia del dott. Stefano Castagnetti, in attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n.77.

I risultati dello studio di microzonazione sismica del Comune di **Casalgrande** sono stati approvati dalla RER nel 2015 e pubblicati dal Comune in un documento con allegate diverse tavole tra cui le Mappe delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica, le Mappe delle Frequenze Naturali dei terreni e le Mappe dei Fattori di Amplificazione in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0), sia di rapporto di Intensità di Housner (SI/SI_0) per prefissati intervalli di periodo.

3.6.3 MICROZONAZIONE SISMICA – PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

Il **Comune di Casalgrande** attraverso lo strumento urbanistico del PSC, nell'ambito dello studio sismico del territorio, ha redatto una serie di documenti di riferimento, tra cui la *carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)*, in scala 1:10000, di I livello di approfondimento. La cartografia prodotta ha consentito di caratterizzare il territorio in base alla risposta sismica locale, cioè al comportamento del terreno durante e dopo il terremoto, individuando e delimitando le aree a comportamento omogeneo, distinguendo tra:

- *zone stabili suscettibili di amplificazioni locali;*
- *zone suscettibili di instabilità*, tra cui le zone di attenzione per instabilità dei versanti attiva o quiescente.

Come si evince dalla colonna litostratigrafica e dalla mappa tematica di **Figura n. 6**, l'area di interesse presenta la sovrapposizione tra la ZONA 5 (zona stabile suscettibile di amplificazioni locali) da cui deriva

la seguente descrizione tipologica: *successione stratigrafica costituita da depositi di argille limose con intercalazioni di livelli ghiaiosi in matrice limo-argillosa e limo-sabbiosa. A profondità variabili da -10 a -20 metri da p.c. è presente un orizzonte ghiaioso addensato poggiante su depositi sabbioso-ghiaiosi di ambiente costiero.*

Nelle suddette zone si hanno i seguenti

effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche;

studi richiesti: valutazione amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche;

Microzonazione sismica: sono richiesti approfondimenti di II livello.

Legenda

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

- Zona 1: successione stratigrafica costituita da alternanze di limi e limi argillosi, tavola sabbiosi, aventi spessore variabile da 2 a 7 metri, ricoprenti depositi ghiaiosi di spessore pluridecimetrico
- Zona 2: successione stratigrafica costituita da prevalenti depositi ghiaiosi di potenza pluridecimetrica con locali intercalazioni a matrice argillosa, ricoperti in superficie da un livello di sabbie limose di ridotto spessore
- Zona 3: successione stratigrafica costituita da prevalenti depositi ghiaiosi di potenza pluridecimetrica, ricoperti in superficie da un livello di limi argillosi di spessore variabile da 4 a 6 metri
- Zona 4: successione stratigrafica costituita da depositi superficiali di argille limose e limi sabbiosi, sovrastanti un livello di ghiaie dello spessore medio di 3 metri posto su un substrato di peliti marnose di origine marina
- Zona 5: successione stratigrafica costituita da depositi di argille limose con intercalazioni di livelli ghiaiosi in matrice limo-argillosa e limo-sabbiosa. A profondità variabili da -10 a -20 metri da p.c. è presente un orizzonte ghiaioso addensato poggiante su depositi sabbioso-ghiaiosi di ambiente costiero
- Zona 6: successione stratigrafica costituita da depositi di argille limose moderatamente consistenti dello spessore medio di circa 5 metri, poggianti su un orizzonte argilloso molto consistente

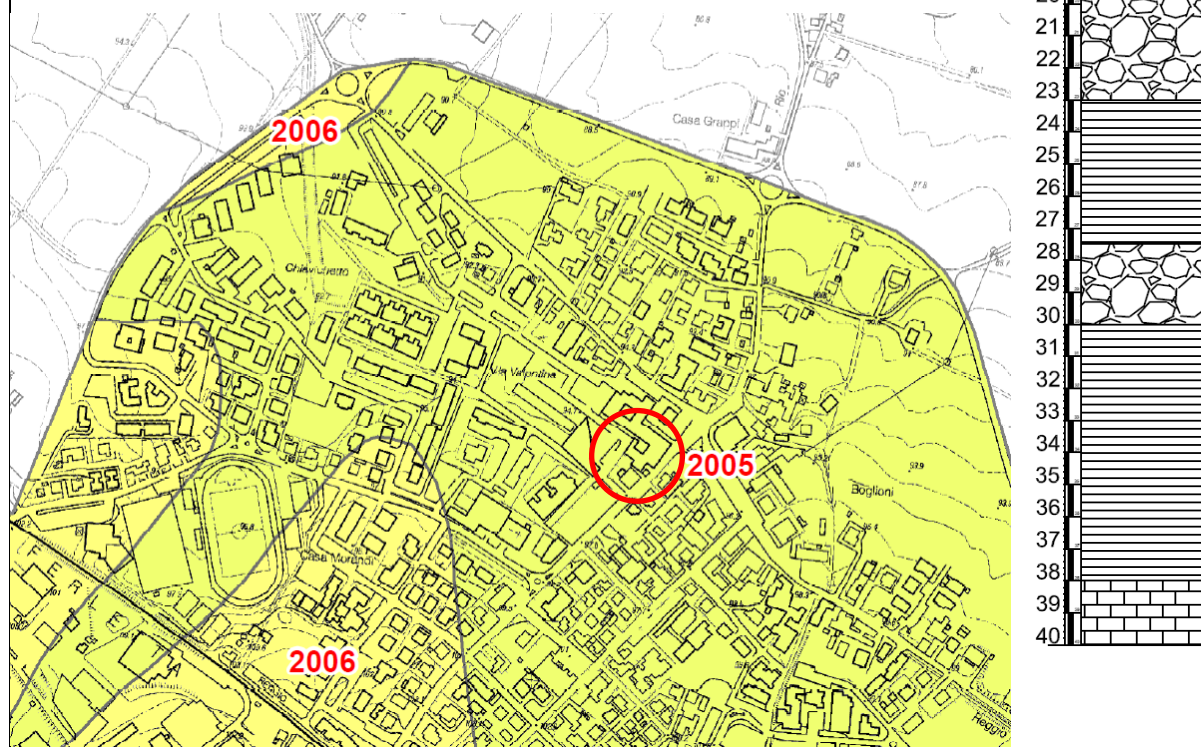


Figura n.6: Colonna litostratigrafica della Zona 5 (a destra) e Carta delle MOPS (a sinistra), tratta dal PSC del Comune di Casalgrande (stralcio in scala 1:10000)

3.6.4 MICROZONAZIONE SISMICA – SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

Il Comune di Casalgrande, sempre nell'ambito del PSC, sulla base di dati geologici e geomorfologici di dettaglio, prove geofisiche e geotecniche in situ, ha prodotto uno studio di secondo livello di approfondimento del territorio comunale, con particolare attenzione alle aree urbanizzate, a quelle suscettibili di trasformazioni urbanistiche e lungo le fasce a cavallo delle reti infrastrutturali principali. Tra gli elaborati dello studio di microzonazione sismica, di sicuro interesse per il presente progetto c'è la Carta di microzonazione sismica (*livello 2*) dei fattori di amplificazione – F.a. P.G.A. (**Figura n. 7**).

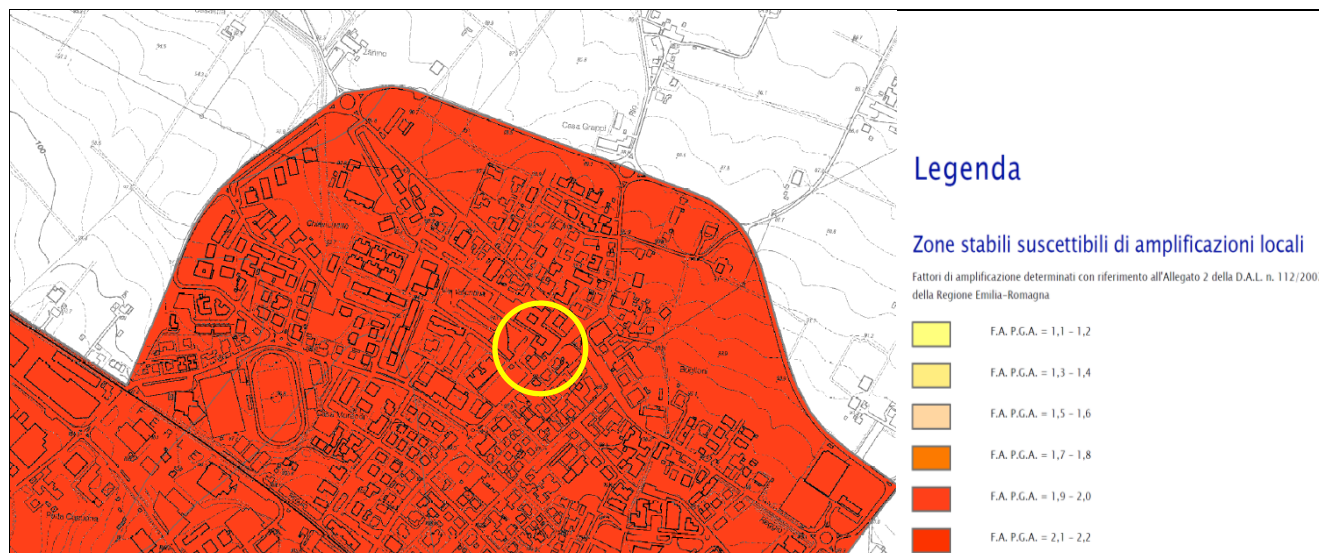


Figura n. 7: carta dei F.A._{PGA}

Lo studio definisce la ricostruzione del modello del sottosuolo e della carta delle frequenze ipotizzando il bedrock sismico situato a profondità maggiori di -100 m da p.c. nel settore centrale e settentrionale del territorio comunale. Viceversa, nel settore meridionale viene ipotizzato il bedrock sismico a profondità minori di 50 m dal p.c.

Per la definizione dell'amplificazione sono state utilizzate le tabelle e le formule indicate dell'Allegato A2 degli indirizzi regionali (Delibera dell'Assemblea Legislativa Regione Emilia-Romagna n° 112 del 2 maggio 2007), tra cui la tabella "Pianura 2" per il settore centrale e settentrionale del territorio comunale, mentre per il settore meridionale è stata utilizzata la tabella "Appennino e margine appenninico-padano", con substrato marino caratterizzato da $V_s < 800$ m/s.

Non sono stati considerati fattori di amplificazione topografici dal momento che le porzioni del Comune oggetto di microzonazione ricadono sempre in aree con inclinazione inferiore a 15°.

Per la zona 5 i valori di riferimento della V_{s30} determinati sulla base delle classi di velocità contenute nelle tabelle dell'Allegato A2 degli indirizzi regionali è la seguente:

- Zona 2005 _ $V_{sH} = 340$ m/s con $H = 20$ m

Utilizzando le tabelle "Pianura 2" e "Margine con substrato lento" dell'Allegato 2 degli indirizzi regionali, i fattori di amplificazione (F.A.) per gli areali oggetto di microzonazione sono riportati di seguito:

$$F_{aPGA} = 1.9$$

$$F_{aIntensità\ spettrale\ 0.1s < T_0 < 0.5s} = 1.9$$

$$F_{aIntensità\ spettrale\ 0.5s < T_0 < 1.0s} = 1.5$$

Questo dato numerico ha come riferimento la microzona 5.

4. CARATTERIZZAZIONE DI DETTAGLIO DEL SITO MEDIANTE INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE

Una volta valutato l'intervento in progetto, in relazione alle criticità riscontrate nei precedenti livelli di approfondimento, sono state analizzate tutte le indagini e gli studi di repertorio volti a supportare i successivi gradi di approfondimento richiesti dalle normative di riferimento. A tal fine sull'area di intervento si sono considerate le seguenti indagini rappresentative eseguite dallo scrivente:

- n.1 prova penetrometrica statica CPT;
- n.2 prove di sismica passiva (TR) mediante la metodologia HVSR.

4.1 PROVE PENETROMETRICHE: ATTREZZATURA ED ELABORAZIONE

L'attrezzatura utilizzata si compone di un penetrometro statico Pagani da 100 kN montato su carro cingolato. Il segnale elettrico generato dalla cella di pressione durante l'infissione della CPT viene opportunamente condizionato e amplificato dalla centralina di acquisizione e visualizzato su di un display digitale a quattro cifre.

Le caratteristiche dello strumento impiegato per i sondaggi sono le seguenti:

- punta meccanica	Begemann;	- parametri registrati:	Rp (resistenza alla punta); Rl (resistenza attrito-laterale);
- spinta	100 kN;	- area punta	10 cm ² ;
- intervalli di misura	20 cm;	- angolo alla punta	60°.

La prova penetrometrica statica CPT (Cone Penetration Test) viene realizzata infiggendo nel terreno, alla velocità di 2 cm/sec, la punta meccanica Begemann. La punta presenta alla sua estremità inferiore un cono avente un angolo al vertice di 60°, un diametro alla base di 36 mm e quindi un'area di base di 10 cm². Esso supporta lungo il suo stelo un manicotto d'attrito, la cui superficie laterale è di 150 cm². I parametri geotecnici della prova sono stati ottenuti mediante la lettura di campagna relativa all'infissione della sola punta (Rp), e mediante la lettura dell'infissione della punta e del manicotto (Rl). Si sono ottenuti così i valori di resistenza alla punta (q_c) e di resistenza laterale locale (f_s), espressi in MPa, per ogni 20 cm di terreno attraversato. Dal rapporto q_c/f_s si è potuta effettuare una valutazione della litologia.

4.2 PROVA MICROTREMORE A STAZIONE SINGOLA: ATTREZZATURA ED ELABORAZIONE

Le misure puntuali ad alta risoluzione di sismica passiva eseguite con tromografo digitale sono finalizzate all'elaborazione degli spettri di base ed analisi HVSR del sottosuolo. Tale strumento misura il rumore di fondo e lo utilizza come funzione di eccitazione per identificare in maniera passiva, non invasiva e rapida le frequenze di risonanza del sottosuolo, che sono in relazione diretta con l'amplificazione sismica, oggi considerata da molti la prima causa di danno e distruzione durante un terremoto (Mulargia et al., 2007).

Il rumore di fondo (microtremore), presente ovunque sulla superficie terrestre ed associato sia a fenomeni atmosferici che all'attività antropica, è relativo ad oscillazioni molto piccole (10^{-15} m/s²), con componenti spettrali che vengono scarsamente attenuate nello spazio e misurabili con tecniche di acquisizione dette passive.

Tutte le onde elastiche dalla sorgente al sito, subiscono modifiche al loro tragitto ed attenuazioni in relazione alla natura del sottosuolo attraversato. Le informazioni stratigrafiche contenute nei microtremori sono sovrapposte al rumore casuale e possono essere estratte attraverso metodologie come quella di Nakamura dei rapporti spettrali (HVSR – horizontal to vertical spectral ratio). Tale tecnica è utilizzata per la determinazione dell'amplificazione sismica locale e per stimare le frequenze principali di risonanza del sottosuolo, dati molto utili anche per la progettazione ingegneristica delle strutture (Castellaro, 2012).

Il metodo considera i microtremori come composti in massima parte da onde di superficie (di Rayleigh) nelle componenti orizzontali e verticali, che vengono amplificate per effetto di sito a causa della presenza di discontinuità stratigrafiche nel sottosuolo. È quindi possibile ricostruire la forma spettrale del microtremore, in cui i picchi alle diverse frequenze rappresentano il rapporto tra la componente orizzontale e verticale dei segnali registrati.

Per la campagna di indagine è stato utilizzato uno strumento della ditta SARA Electronic Instruments srl denominato Sara Geobox con sensore Sara SS45PACK, con sensore integrato da 4,5 Hz.

L'acquisizione dei dati è stata effettuata alla frequenza di 300 Hz con un tempo di singola registrazione pari a 20 minuti.

Le registrazioni sono state elaborate utilizzando un modulo del software "GeoExplorer HVSr 2.0.0 Alfa version" per la modellazione delle curve H/V nell'intervallo 0,0 – 128 Hz, impostando una larghezza delle finestre di analisi tra 25 e 40 secondi, e lisciamiento secondo una finestra triangolare con ampiezza pari al 20%.

5. RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA SULLE INDAGINI

La ricostruzione della stratigrafia del sottosuolo, finalizzata alla creazione del modello geologico è stata ottenuta mediante un rilievo geologico-geomorfologico, la consultazione delle note bibliografiche disponibili e acquisendo i dati di prove penetrometriche.

In relazione alle esigenze progettuali e alle caratteristiche di resistenza del terreno, l'indagine geognostica è stata spinta ad una profondità massima di -9.0 m. Durante l'esecuzione delle indagini non si sono riscontrate anomalie di funzionamento delle apparecchiature sia meccaniche che digitali.

5.1 MODELLO GEOLOGICO-LITOSTRATIGRAFICO DEL TERRENO

Si è realizzato un modello geologico e litostratigrafico del sottosuolo, mediante la suddivisione del terreno in strati come segue:

- tolto il primo orizzonte antropizzato (non definibile), fino a -1,6 m di profondità è presente terreno costituito da argilla, limo e sabbia in proporzioni variabili. Lo strato si presenta sovraconsolidato in superficie. Lo strato, che presenta valori di resistenza elevati, è comunque soggetto a variazione delle caratteristiche meccaniche a seconda del tasso di umidità e dell'alterazione. Livello asciutto;
- da -1,6 m a -3,8 m di profondità sono presenti litologie argilloso limose e limo argilloso sovraconsolidate, con un grado di consistenza medio-elevato. Sottili lenti limoso sabbiose fini si frappongono al materiale argilloso, con spessore perlopiù trascurabile. Livello asciutto;
- da -3,8 m a -5,6 m di profondità è presente argilla debolmente limosa e sabbiosa con un grado di consistenza medio, in graduale diminuzione con la profondità, al contatto con gli strati sottostanti. Livello asciutto;
- da -5,6 m a -8,4 m di profondità è presente uno strato a comportamento misto (granulare e coesivo) costituito prevalentemente da limo sabbioso e ghiaioso alternato ad argilla limosa, disposta in strati sottili (perlopiù decimetrici). Il grado di addensamento è medio-elevato, localmente molto elevato (ove presente la ghiaia). Livello asciutto;
- da -8,4 m fino alla profondità di -9,0 m è presente ghiaia eterometrica in matrice limo sabbiosa, con un grado di addensamento da elevato a molto elevato. Livello asciutto;

FALDA

Il monitoraggio del livello piezometrico misurato all'interno dei fori di sondaggio ha consentito di identificare il seguente livello di falda rispetto al piano di campagna:

DPSH (prof. raggiunta)	1 (-9,0 m da p.c.)
Profondità falda	Acqua assente

A seguire si riporta il report numerico e grafico della prova presa a riferimento per il modello litostratigrafico del terreno:

PROVA CPT di riferimento

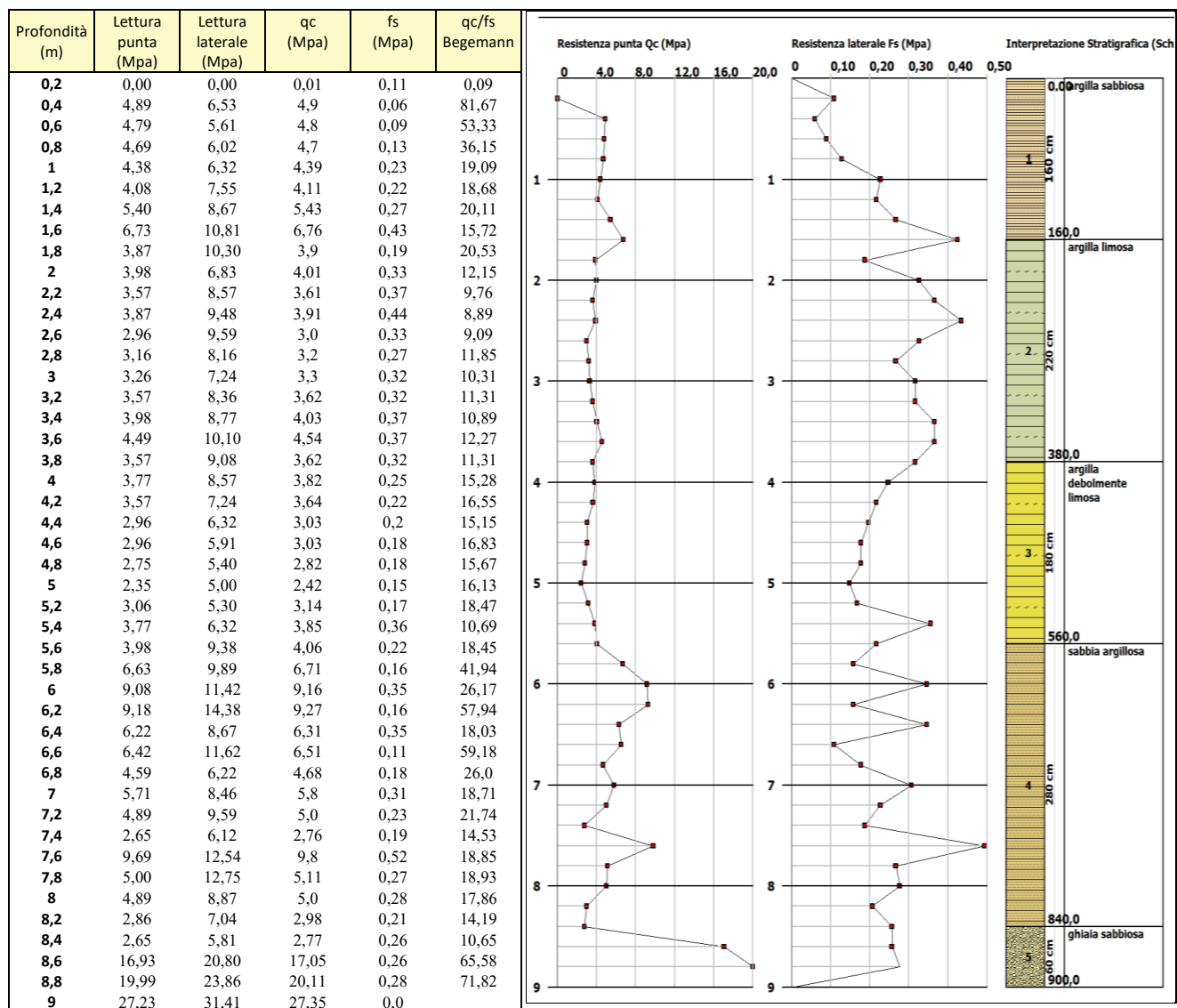


Figura 8: modello stratigrafico interpretativo della prova penetrometrica

Sulla base dei riscontri penetrometrici si ricostruisce la seguente sequenza stratigrafica:

Prof. base strato (m)	Qc Medio (MPa)	Fs Media (MPa)	Gamma Medio (KN/m³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
1,60	4,39	0,19	19,6	Incoerente-Coesivo	argilla sabbiosa
3,80	3,7	0,33	19,3	Coesivo	argilla limosa
5,60	3,31	0,21	19,1	Coesivo	argilla debolmente limosa
8,40	5,85	0,26	19,8	Incoerente-Coesivo	sabbia argillosa e ghiaiosa
9,00	21,5	0,18	19,6	Incoerente	ghiaia sabbiosa

Modello del Terreno - legenda e metodologia prova CPT

I valori sono calcolati con queste formule:

$qc (RP) = (LP \times Ct) / 10 \text{ cm}^2$ Resistenza alla punta

$fs (RL) = [(LT - LP) \times Ct] / 150 \text{ cm}^2$ Resistenza laterale

Gamma = Peso di Volume (formula di Meyerhof)

LP=Lettura alla punta; LT=Lettura laterale; Ct=Cost.diTrasformazione; Ap=Superficie Punta(10cm²); Am=area manicotto frizione (150cm²)



5.2 MODELLO GEOTECNICO E PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO

I valori di resistenza meccanica del terreno hanno consentito la suddivisione in strati del terreno per la creazione di un **Modello Geotecnico**. Il modello geotecnico tiene conto dell'insieme delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni entro un volume reputato significativo. Tutti i parametri e i valori di resistenza al taglio indicati sono stati estrapolati da una "stima ragionata e cautelativa" del dato sperimentale acquisito.

Le elaborazioni numeriche per conseguire informazioni geotecniche sono state effettuate con il supporto di un programma di calcolo della GeoStru Software, in licenza allo Scrivente.

Si riporta quindi, per ogni strato, la stima dei parametri geotecnici medi:

Strato	Descrizione	Prof. base	Cu	C'	Eu	Mo	G	Puv	PuvS	Fi	Modulo Poisson
[1]	argilla sabbiosa	1,6	101,3	10,1	21,9	13,1	28,0	18,7	20,4	24,7	0,36
[2]	argilla limosa	3,8	83,3	8,3	18,5	11,1	25,2	18,3	20,1	21,8	0,37
[3]	argilla debolmente limosa	5,6	76,3	7,6	16,5	9,9	23,5	18,1	20,0	20,9	0,38
[4]	sabbia argillosa e ghiaiosa	8,4	91,5	9,1	29,2	17,5	33,3	19,1	20,8	24,0	0,34
[5]	ghiaia sabbiosa	9,0	--	--	--	32,2	73,9	18,6	21,5	36,2	0,32

Tabella - Modello Geotecnico del Terreno. Legenda:

Nr:	Numero progressivo strato	G:	Modulo di deformazione a taglio (Mpa)
Prof:	Profondità strato (m)	Puv:	Peso unità di volume (KN/m ³)
Tipo:	C=coesivo, I=incoerente	PuvS:	Peso unità di volume saturo (KN/m ³)
Cu:	Coesione non drenata (KPa)	Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
C':	Coesione efficace (KPa)	Mo:	Modulo Edometrico (Mpa)
Eu:	Modulo di defomazione non drenato (Mpa)	Dr:	Densità Relativa %

6. CARATTERIZZAZIONE SISMOSTRATIGRAFICA DEL SITO

Si è eseguita sul terreno oggetto di studio una campagna di indagine geofisica comprensiva di:
- n. 2 indagini sismiche passiva con misurazione di microtremore a stazione singola TR.

L'indagine è stata svolta con l'obiettivo di determinare la sismostratigrafia dell'area di intervento, la frequenza fondamentale del terreno, nonché la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), in riferimento al D.M. 17/01/18 ("Nuove NTC").

I dati ottenuti dalla prospezione sismica di superficie sono stati opportunamente tarati con dati sismici, stratigrafici e litologici presenti in bibliografia (pozzi, sezioni stratigrafiche ecc.) e delle prove penetrometriche eseguite in sito. Tali indagini hanno consentito la creazione del modello sismostratigrafico del terreno, la definizione del profilo di V_s con la profondità e quindi all'analisi di risposta sismica locale del suolo di fondazione.

6.1 RISULTATI INDAGINE GEOFISICA CON TECNICA HVSR

MODELLO SISMOSTRATIGRAFICO DEL TERRENO DA PROVA HVSR 1

La misura **HV n.1** con tromografo ha consentito di rilevare diversi picchi di frequenza tra cui è stata selezionata la seguente frequenza fondamentale (diagrammi in **fig. 9**):

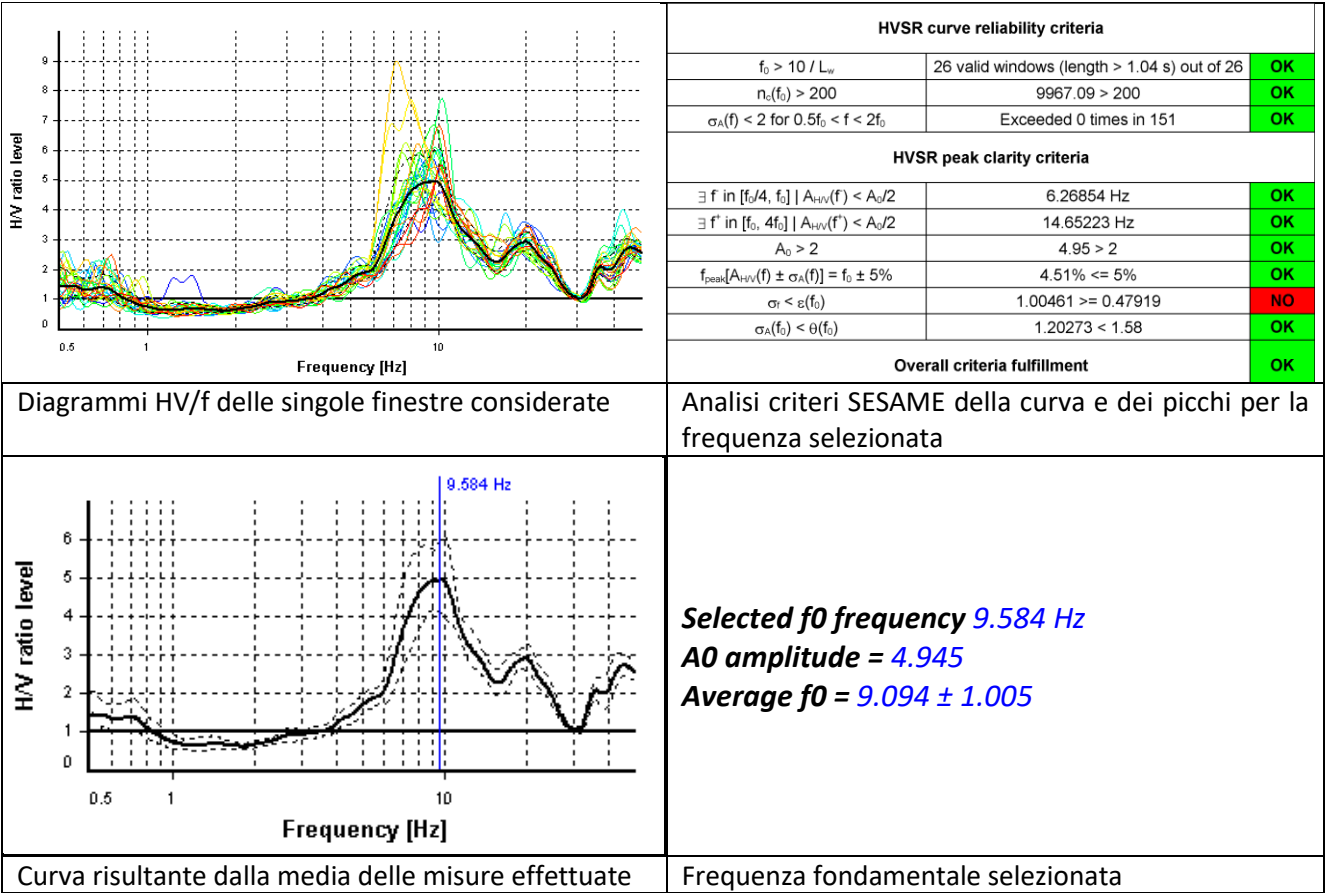


Figura 9: diagrammi HVSR/f delle singole finestre considerate e curva risultante dalla media delle misure effettuate, con evidenziata la frequenza di picco

Il massimo rapporto spettrale H/V selezionato per il terreno naturale indica una possibile frequenza fondamentale compresa tra $9.1\text{Hz} < f_0 < 9.7\text{Hz}$, con valori del rapporto H/V poco inferiori a 5, lasciando presupporre la presenza di contrasto sismico (passaggio fra sequenza alluvionale a differente rigidità), alla profondità di -7,1 m. Sono riconoscibili altri picchi meno accentuati che evidenziano più superfici di contatto tra terreni a differente rigidità sia a quote minori sia maggiori.

Di seguito (**figura 10**) si riporta la sovrapposizione tra la curva sperimentale e la curva sintetica HVSR, il modello sismostratigrafico e l'andamento delle curve delle onde P ed S con la profondità.

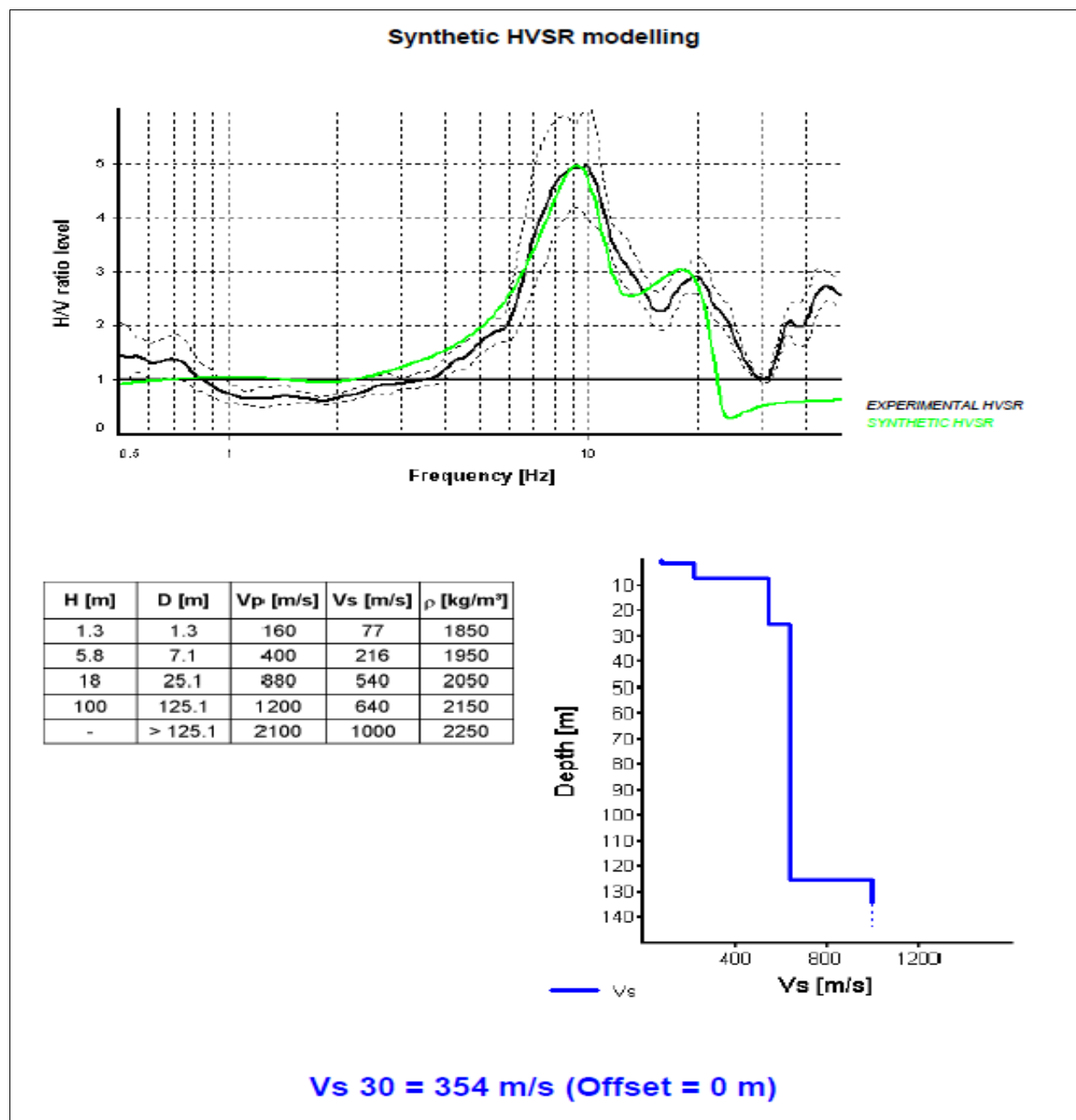


Figura 10: curva sperimentale e la curva sintetica HVSR modello sismostratigrafico del terreno_HV1

Ai vari sismo-strati è stato associato il valore della velocità Vs, consentendo di ottenere la seguente Vs30 (velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo):

Vs30= **354** m/sec (da p.c. a -30,0 m).

MODELLO SISMOSTRATIGRAFICO DEL TERRENO DA PROVA HVSR 2

La misura HV n.2 con tromografo ha consentito di rilevare diversi picchi di frequenza tra cui è stata selezionata la seguente frequenza fondamentale (diagrammi in fig. 11):

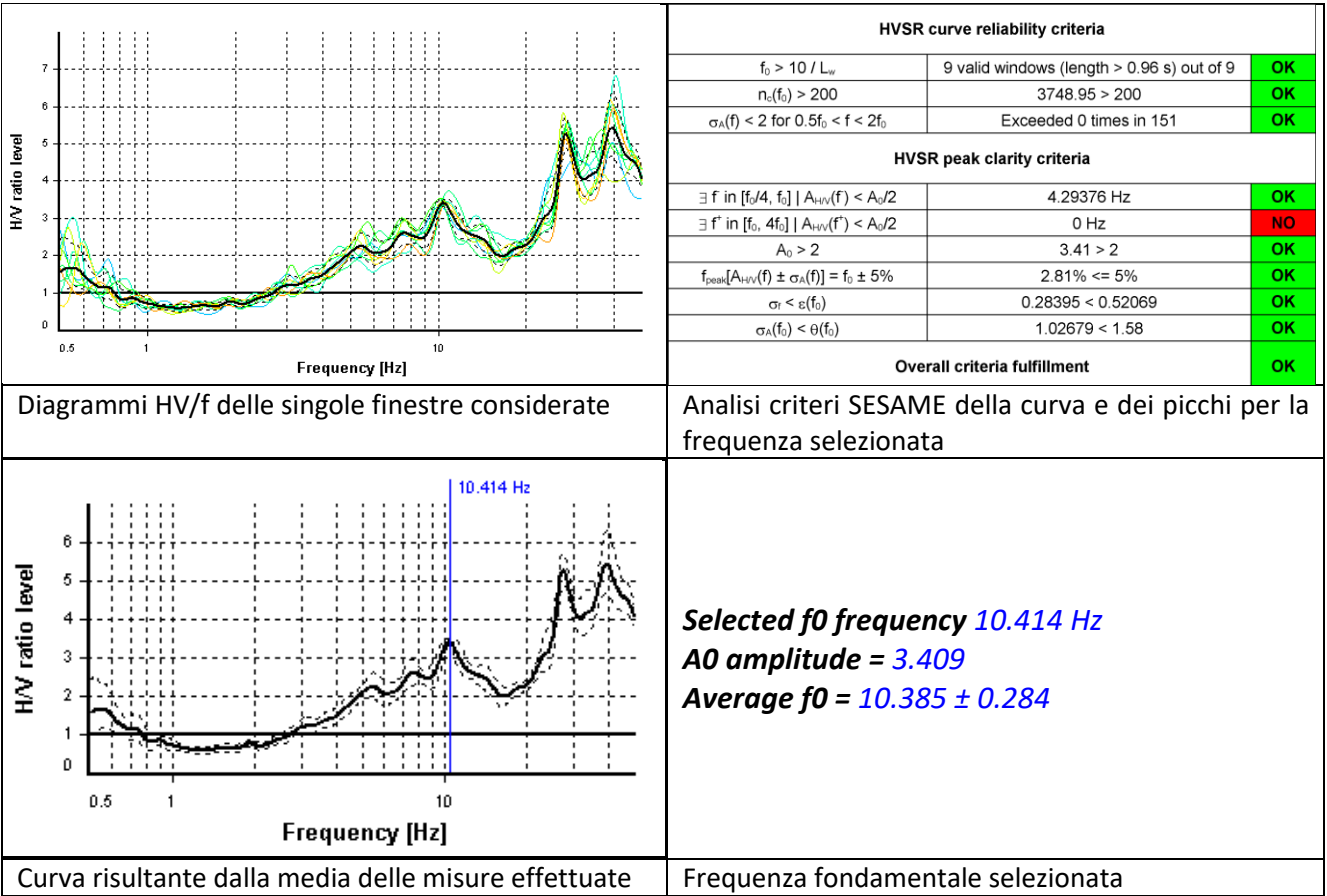


Figura 11: diagrammi HVSR/f delle singole finestre considerate e curva risultante dalla media delle misure effettuate, con evidenziata la frequenza di picco

Il massimo rapporto spettrale H/V selezionato per il terreno naturale indica una possibile frequenza fondamentale compresa tra 10.3Hz< f_0 <10.5Hz, con valori del rapporto H/V pari a circa 3,5, lasciando presupporre la presenza di contrasto sismico (passaggio fra sequenza alluvionale a differente rigidità), alla profondità di -6,2 m. Sono riconoscibili altri picchi meno accentuati (a frequenza minore) e più accentuati (a frequenza maggiore) che evidenziano più superfici di contatto tra terreni a differente rigidità sia a quote maggiori sia minori.

Di seguito (figura 12) si riporta la sovrapposizione tra la curva sperimentale e la curva sintetica HVSR, il modello sismostratigrafico e l'andamento delle curve delle onde P ed S con la profondità.

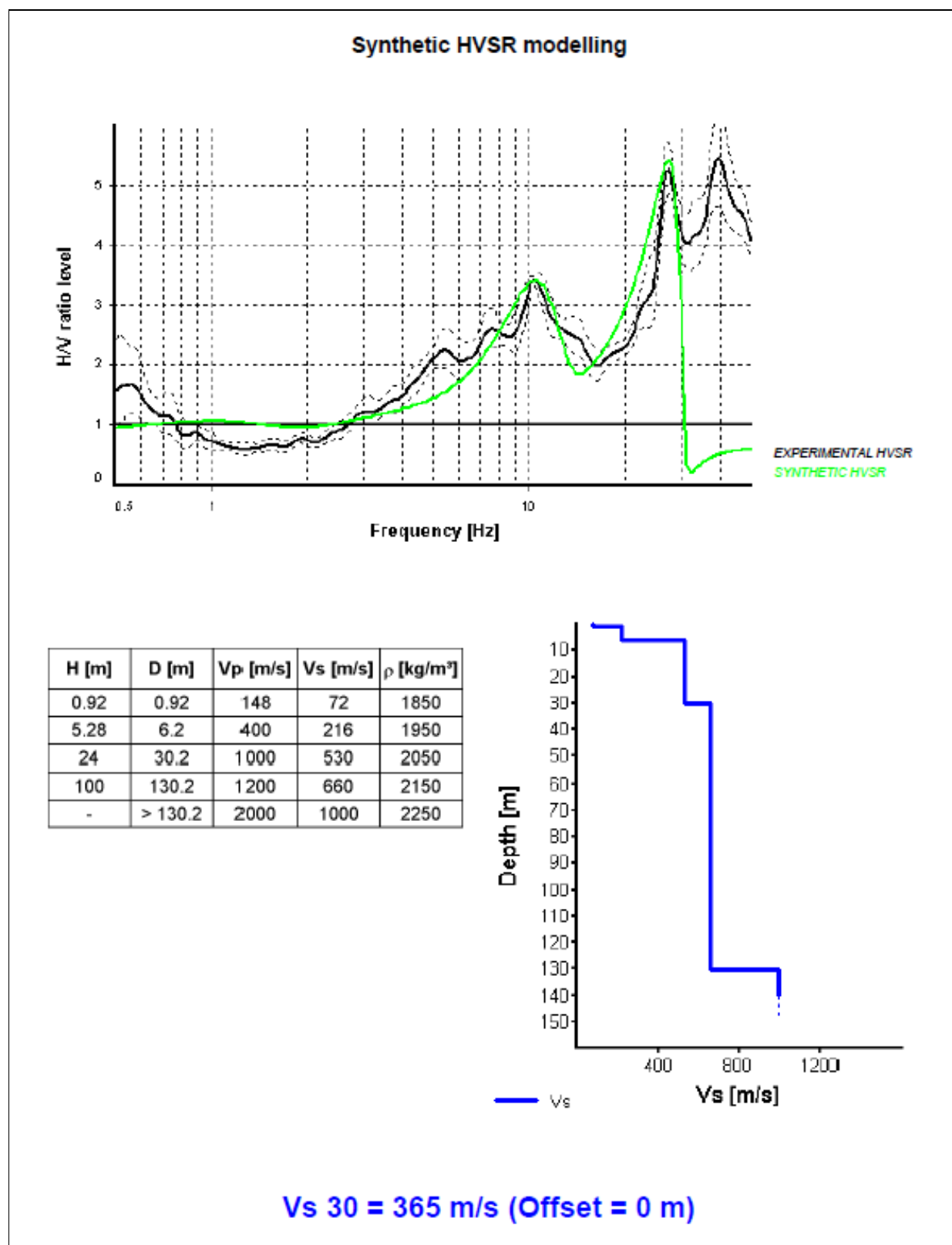


Figura 12: curva sperimentale e la curva sintetica HVSR modello sismostratigrafico del terreno_HV2

Ai vari sismo-strati è stato associato il valore della velocità Vs, consentendo di ottenere la seguente Vs30 (velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo):

Vs30= **365 m/sec** (da p.c. a -30,0 m).

6.2 MODELLO SISMOSTRATIGRAFICO DEL TERRENO E CATEGORIA SISMICA DI SOTTOSUOLO AI SENSI DELLE NTC 2018

I risultati delle indagini geofisiche hanno permesso la ricostruzione del modello di sottosuolo per l'analisi di risposta sismica locale. L'area indagata presenta caratteristiche sostanzialmente omogenee dal punto di vista della risposta sismica e, rispetto alle lunghezze d'onda di interesse, il sottosuolo può essere assunto monodimensionale 1D.

Limitatamente all'approccio semplificato, di cui al § 3.2.2 delle NTC 2018, ai vari sismo-strati è stato associato il valore della velocità V_s , consentendo di ottenere le seguenti V_{s30} (velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo) derivanti dalle diverse prove:

HV 1	$V_{s30} = 354$ m/sec (da p.c. a -30,0 m);
HV 2	$V_{s30} = 365$ m/sec (da p.c. a -30,0 m);

Valore medio $V_{s30} \approx 359$ m/sec (da p.c. a -30,0 m).

Tenuto conto della descrizione geotecnica, di cui alla Tabella 3.2.II (categorie di sottosuolo), contenuta nelle NTC 2018, si classifica il terreno di fondazione come appartenente alla **categoria C**, corrispondente a *"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s."*

7. PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE - ANALISI DEL TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

Sulla base degli scenari individuati si esegue il III livello di approfondimento per valutare il grado di pericolosità sismica locale ai fini della definizione della risposta sismica locale. Il terzo livello di approfondimento si attua per la valutazione dell'azione sismica in superficie.

7.1 CALCOLO DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

Per le analisi di terzo livello di approfondimento e per l'analisi di Risposta Sismica Locale ci si riferisce a quanto specificato nell'Allegato A3 – *"Procedure di riferimento per le analisi di terzo livello di approfondimento"* e ai contenuti presenti nell'Allegato A4 – *"Spettri di risposta rappresentativi e segnali di riferimento per il calcolo della risposta sismica locale nelle analisi di terzo livello di approfondimento"*, della DGR n.2193/2015.

Gli indirizzi di cui all'Allegato A4 della DGR n.2193/2015 dispongono che il calcolo della risposta sismica locale nelle analisi di terzo livello sia eseguito sulla base di accelerogrammi di riferimento ricavabili seguendo la procedura che si basa sui valori di pericolosità sismica elaborati da INGV per il territorio nazionale resi disponibili per il territorio regionale sui punti di una griglia con passo 0,05 gradi nel sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, tema "Sismica – Microzonazione Sismica".

Per il sito analizzato i segnali di riferimento sono stati selezionati attraverso un programma di calcolo denominato SEISM-HOME, messo a punto dalla Fondazione Eucentre (Centro Europeo di Formazione e Ricerca in Ingegneria Sismica, Via A. Ferrata, 1 – Pavia, Italy). Tali accelerogrammi possono essere usati direttamente per analisi di sistemi strutturali o geotecnici posti su terreno roccioso, o come input per analisi di risposta sismica locale in caso di terreno non roccioso (*Rota M., Zuccolo E., Taverna L., Corigliano M., Lai C.G., Penna A. [2012] "Mesozonation of the Italian territory for the definition of real spectrum-compatible accelerograms", Bulletin of Earthquake Engineering, Vol. 10, No. 5, pp. 1357-1375*). Tramite una procedura ottimizzata (Corigliano et al, 2012) è stato selezionato l'insieme migliore di accelerogrammi spettro-compatibili registrati su suolo di categoria A (roccioso) e disponibili nelle principali banche dati accelerometriche mondiali accreditate.

Per il sito selezionato **TR475_ID16278 (LONGITUDINE: 10.753- LATITUDINE: 44.603)**, i files con i segnali di riferimento normalizzati, utilizzati nella seguente verifica, sono riportati di seguito:

- ESD 000764xa.cor
- ESD 000182xa.cor
- ESD 000234ya.cor
- NGA 0455y.txt
- NGA 1033y.txt
- KNET1 SAG0010503201053.NS
- ITACA 20090406_013239ITDPC_ASS__NSC.DAT

Tutti gli accelerogrammi sono stati scalati in modo che la loro accelerazione massima corrisponda al valore di $a_{refg} = 0,163 \text{ g}$ (PGA_0). Tale valore di PGA_0 deriva dai seguenti dati di ingresso per l'edificio e per il sisma di riferimento:

Classe d'uso edifici:	2;
Coefficiente d'uso (C_u)	1,0;
Vita nominale edificio (V_n):	50 anni;
Periodo di riferimento (V_r):	50 anni;
Stato limite:	Salvaguardia della vita (SLV);
Probabilità di superamento:	10%;
Tr:	475 [anni];
a_g:	0,163g [PGA_0].

Tra i diversi programmi di calcolo per eseguire modellazioni numeriche ai fini della valutazione della risposta sismica locale, si è utilizzato il programma RSL III - Versione: 2022.21.5.988 della Geostru Software, basato sul codice SHAKE 91 (SCHNABEL et al., 1972) per quanto concerne le soluzioni relative alle propagazioni delle onde di taglio. Il programma consente di effettuare analisi lineari e lineari equivalenti nel dominio delle frequenze per un sottosuolo stratificato. Il comportamento visco-elastico di ciascuno strato viene modellato usando un modulo di rigidità complesso [IDRISS e SUN, 1992; KRAMER, 1996]. Il substrato di base (bedrock), cui è applicato il segnale sismico, può essere modellato come rigido o come elastico, assegnandone in tal caso le proprietà.

Per ogni input sismico di riferimento si ottengono le storie temporali di accelerazione, velocità relativa e spostamento al tetto dei sotto-strati selezionati, oltre al fattore di amplificazione (FA).

Il modello numerico di risposta sismica locale è stato elaborato impostando differenti litotipi, a cui sono state associate le caratteristiche che compaiono nella tabella che segue:

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Gmax [MPa]	Smorzamento critico [%]	Peso unità vol. [kN/m ³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1	--	2.0	Vucetic & Dorby (1991) PI=50	41.28	--	18.0	150.0	18.0
2	2.0	4.0	Vucetic & Dorby (1991) PI=15	77.47	--	19.0	200.0	74.0
3	6.0	7.0	Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)	183.49	--	20.0	300.0	182.0
4	13.0	8.0	Lombardia - Ghiaie	334.35	--	20.5	400.0	334.0
5	21.0	30.0	Seed et al. (1986) Sand - Average	535.17	--	21.0	500.0	583.9
6	51.0	34.0	EPRI Sand (1993) 36,88- 76,20 metri	788.99	--	21.5	600.0	950.4
7	85.0	35.0	EPRI Sand (1993) 76,50- 152,40 metri	1098.88	--	22.0	700.0	1362.5
8	oo	--	EPRI Rock (1993) 76,50- 152,40 metri	1467.89	--	22.5	800.0	1575.8

Il comportamento meccanico del terreno sotto azioni sismiche è valutato modellando le litologie in categorie che presentano le proprietà nel modulo di taglio G/G_0 e fattore di smorzamento secondo quanto riportato in tabella. Le leggi di variazione del rapporto G/G_{max} e del coefficiente di smorzamento in funzione della deformazione a taglio che si sono utilizzate possono essere ritenute rappresentative dei terreni presenti nel sito oggetto di intervento.

ELABORAZIONE

Numero di iterazioni: 50

Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima: 0.5

Tipo di modulo elastico: Shake 91

Massimo errore percentuale di convergenza : $3.40 \cdot 10^{-5}$

FATTORI DI AMPLIFICAZIONE ICMS 2018

Tai	0.170 [s]
Tvi	0.940 [s]
Tao	0.170 [s]
Tvo	0.720 [s]
Sami	4.062 [m/s ²]
Svmi	0.215 [m/s]
Samo	7.763 [m/s ²]
Svmo	0.370 [m/s]
Fa	1.911 [-]



Fv	1.718 [-]
TB	0.100 [s]
TC	0.299 [s]
TD	2.572 [s]
SA(0)	0.243 [g]
SA(TB)	0.791 [g]

FATTORI DI AMPLIFICAZIONE SU INTENSITÀ SPETTRALE

Periodo minino [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.063	0.116	0.200	1.848
0.500	1.000	0.105	0.185	0.500	1.767
0.500	1.500	0.210	0.340	0.333	1.621

SPETTRO MEDIO DI RISPOSTA ELASTICO

Period o [s]	Accelerazion e [g]	Period o [s]	Accelerazion e [g]	Period o [s]	Accelerazion e [g]	Period o [s]	Accelerazion e [g]	Period o [s]	Accelerazion e [g]
0.00	0.2979	0.26	0.7811	0.52	0.4220	0.98	0.2077	2.25	0.0523
0.01	0.2979	0.27	0.7590	0.53	0.4092	1.00	0.1935	2.30	0.0509
0.02	0.2988	0.28	0.7450	0.54	0.4005	1.05	0.1713	2.35	0.0504
0.03	0.3122	0.29	0.7101	0.55	0.3966	1.10	0.1566	2.40	0.0498
0.04	0.3376	0.30	0.6892	0.56	0.3864	1.15	0.1493	2.50	0.0469
0.05	0.3808	0.31	0.6958	0.57	0.3735	1.20	0.1398	2.60	0.0440
0.06	0.4213	0.32	0.6986	0.58	0.3687	1.25	0.1338	2.70	0.0401
0.07	0.4773	0.33	0.7048	0.60	0.3548	1.30	0.1224	2.80	0.0361
0.08	0.4989	0.34	0.6876	0.62	0.3438	1.35	0.1178	2.90	0.0332
0.09	0.5201	0.35	0.6407	0.64	0.3410	1.40	0.1067	3.00	0.0331
0.10	0.5084	0.36	0.6312	0.66	0.3367	1.45	0.0972	3.10	0.0328
0.11	0.5938	0.37	0.6208	0.68	0.3302	1.50	0.0927	3.20	0.0330
0.12	0.6612	0.38	0.5969	0.70	0.3220	1.55	0.0900	3.30	0.0314
0.13	0.7551	0.39	0.5766	0.72	0.3151	1.60	0.0858	3.40	0.0286
0.14	0.8343	0.40	0.5538	0.74	0.2991	1.65	0.0825	3.50	0.0257
0.15	0.7915	0.41	0.5250	0.76	0.2771	1.70	0.0785	3.60	0.0234
0.16	0.9174	0.42	0.4916	0.78	0.2662	1.75	0.0751	3.70	0.0217
0.17	0.9524	0.43	0.4728	0.80	0.2613	1.80	0.0709	3.80	0.0218
0.18	0.9223	0.44	0.4677	0.82	0.2583	1.85	0.0693	3.90	0.0213
0.19	0.9321	0.45	0.4757	0.84	0.2524	1.90	0.0678	4.00	0.0200
0.20	0.9364	0.46	0.4821	0.86	0.2419	1.95	0.0645		
0.21	0.8675	0.47	0.4812	0.88	0.2369	2.00	0.0605		
0.22	0.8323	0.48	0.4722	0.90	0.2349	2.05	0.0599		
0.23	0.8169	0.49	0.4665	0.92	0.2330	2.10	0.0574		
0.24	0.8188	0.50	0.4599	0.94	0.2282	2.15	0.0553		
0.25	0.7969	0.51	0.4398	0.96	0.2199	2.20	0.0543		

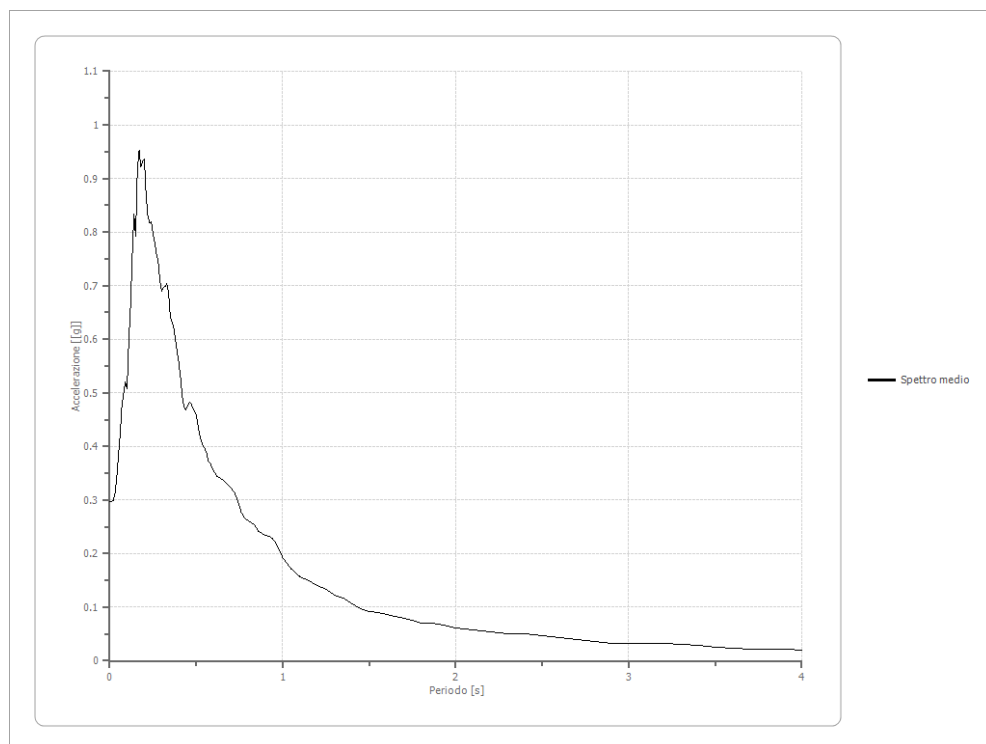


Figura n.13: spettro medio di risposta elastico

SPETTRO NORMALIZZATO DI RISPOSTA ELASTICO

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.2430	0.26	0.7913	0.52	0.4557	0.98	0.2418	2.25	0.1053
0.01	0.2979	0.27	0.7913	0.53	0.4471	1.00	0.2369	2.30	0.1030
0.02	0.3529	0.28	0.7913	0.54	0.4388	1.05	0.2257	2.35	0.1008
0.03	0.4078	0.29	0.7913	0.55	0.4308	1.10	0.2154	2.40	0.0987
0.04	0.4628	0.30	0.7898	0.56	0.4231	1.15	0.2060	2.50	0.0948
0.05	0.5177	0.31	0.7643	0.57	0.4157	1.20	0.1975	2.60	0.0911
0.06	0.5726	0.32	0.7405	0.58	0.4085	1.25	0.1896	2.70	0.0878
0.07	0.6276	0.33	0.7180	0.60	0.3949	1.30	0.1823	2.80	0.0846
0.08	0.6825	0.34	0.6969	0.62	0.3822	1.35	0.1755	2.90	0.0817
0.09	0.7374	0.35	0.6770	0.64	0.3702	1.40	0.1692	3.00	0.0790
0.10	0.7913	0.36	0.6582	0.66	0.3590	1.45	0.1634	3.10	0.0764
0.11	0.7913	0.37	0.6404	0.68	0.3484	1.50	0.1580	3.20	0.0740
0.12	0.7913	0.38	0.6235	0.70	0.3385	1.55	0.1529	3.30	0.0718
0.13	0.7913	0.39	0.6076	0.72	0.3291	1.60	0.1481	3.40	0.0697
0.14	0.7913	0.40	0.5924	0.74	0.3202	1.65	0.1436	3.50	0.0677
0.15	0.7913	0.41	0.5779	0.76	0.3118	1.70	0.1394	3.60	0.0658
0.16	0.7913	0.42	0.5642	0.78	0.3038	1.75	0.1354	3.70	0.0640
0.17	0.7913	0.43	0.5510	0.80	0.2962	1.80	0.1316	3.80	0.0624
0.18	0.7913	0.44	0.5385	0.82	0.2890	1.85	0.1281	3.90	0.0608
0.19	0.7913	0.45	0.5265	0.84	0.2821	1.90	0.1247	4.00	0.0592
0.20	0.7913	0.46	0.5151	0.86	0.2755	1.95	0.1215		
0.21	0.7913	0.47	0.5041	0.88	0.2693	2.00	0.1185		
0.22	0.7913	0.48	0.4936	0.90	0.2633	2.05	0.1156		
0.23	0.7913	0.49	0.4836	0.92	0.2575	2.10	0.1128		
0.24	0.7913	0.50	0.4739	0.94	0.2521	2.15	0.1102		
0.25	0.7913	0.51	0.4646	0.96	0.2468	2.20	0.1077		

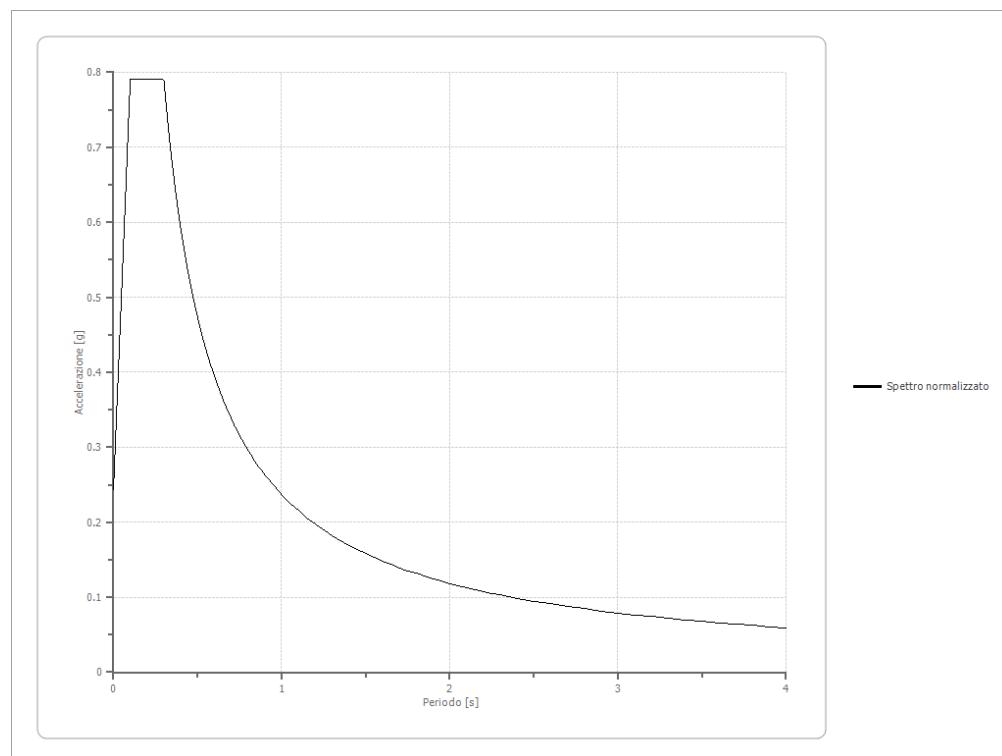


Figura n.14: spettro normalizzato di risposta elastico

PARAMETRI SPETTRO NORMALIZZATO

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se (0) [g]	Se (TB) [g]	S
0.243	3.256498	--	0.100	0.299	2.572	0.243	0.791	1.491

CONFRONTO TRA GLI SPETTRI

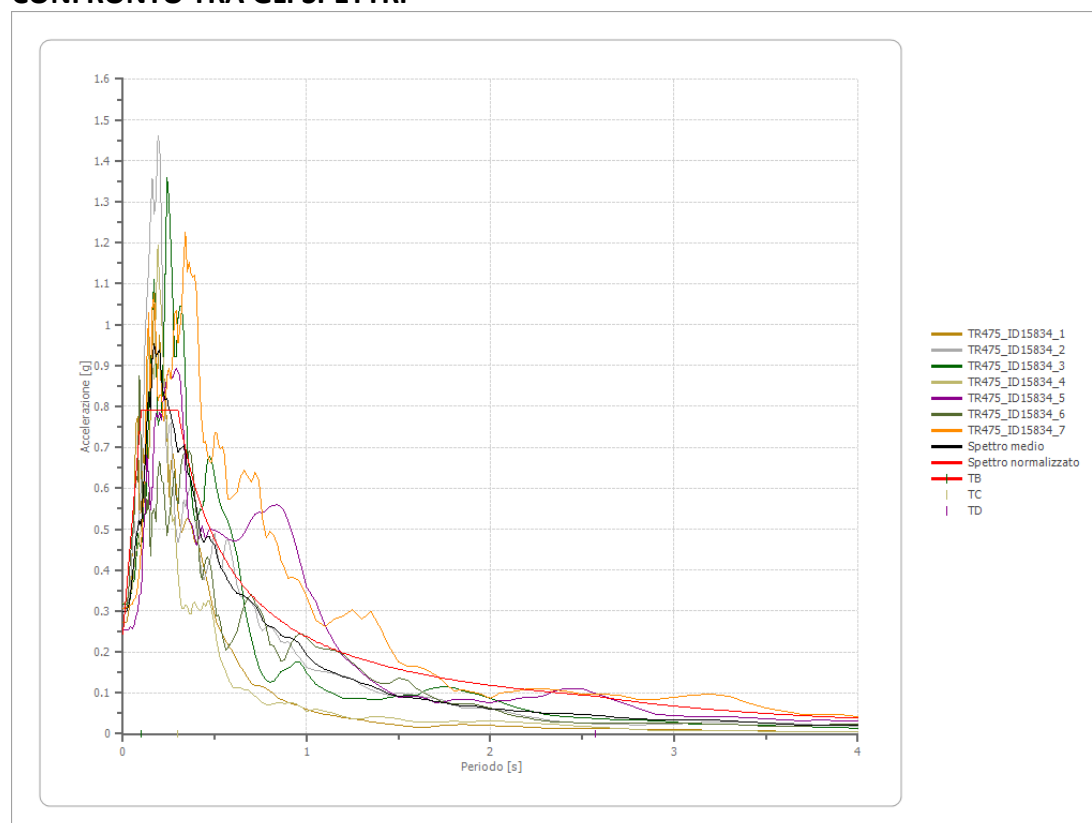


Figura n.15: tracce degli spettri analizzati, spettro medio e spettro normalizzato

CONFRONTO SPETTRO NORMATIVA

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività SLO Cat. C	Danno SLD Cat. C	Salvaguardia vita SLV Cat. C	Prev. collasso SLC Cat. C	Operatività SLO Cat. D	Danno SLD Cat. D	Salvaguardia vita SLV Cat. D	Prev. collasso SLC Cat. D
Tr [anni]	30	50	475	975	30	50	475	975
ag [g]	0.051	0.064	0.163	0.205	0.051	0.064	0.163	0.205
Fo	2.478	2.491	2.376	2.386	2.478	2.491	2.376	2.386
Tc* [s]	0.251	0.265	0.289	0.303	0.251	0.265	0.289	0.303
Ss	1.50	1.50	1.47	1.41	1.80	1.80	1.80	1.67
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.66	1.63	1.58	1.56	2.50	2.43	2.33	2.27
TB [s]	0.139	0.144	0.152	0.157	0.209	0.214	0.224	0.229
TC [s]	0.416	0.431	0.457	0.472	0.626	0.643	0.672	0.688
TD [s]	1.804	1.856	2.252	2.420	1.804	1.856	2.252	2.420
Se(0) [g]	0.077	0.096	0.239	0.288	0.092	0.115	0.293	0.342
Se(TB) [g]	0.190	0.239	0.568	0.688	0.227	0.287	0.697	0.815

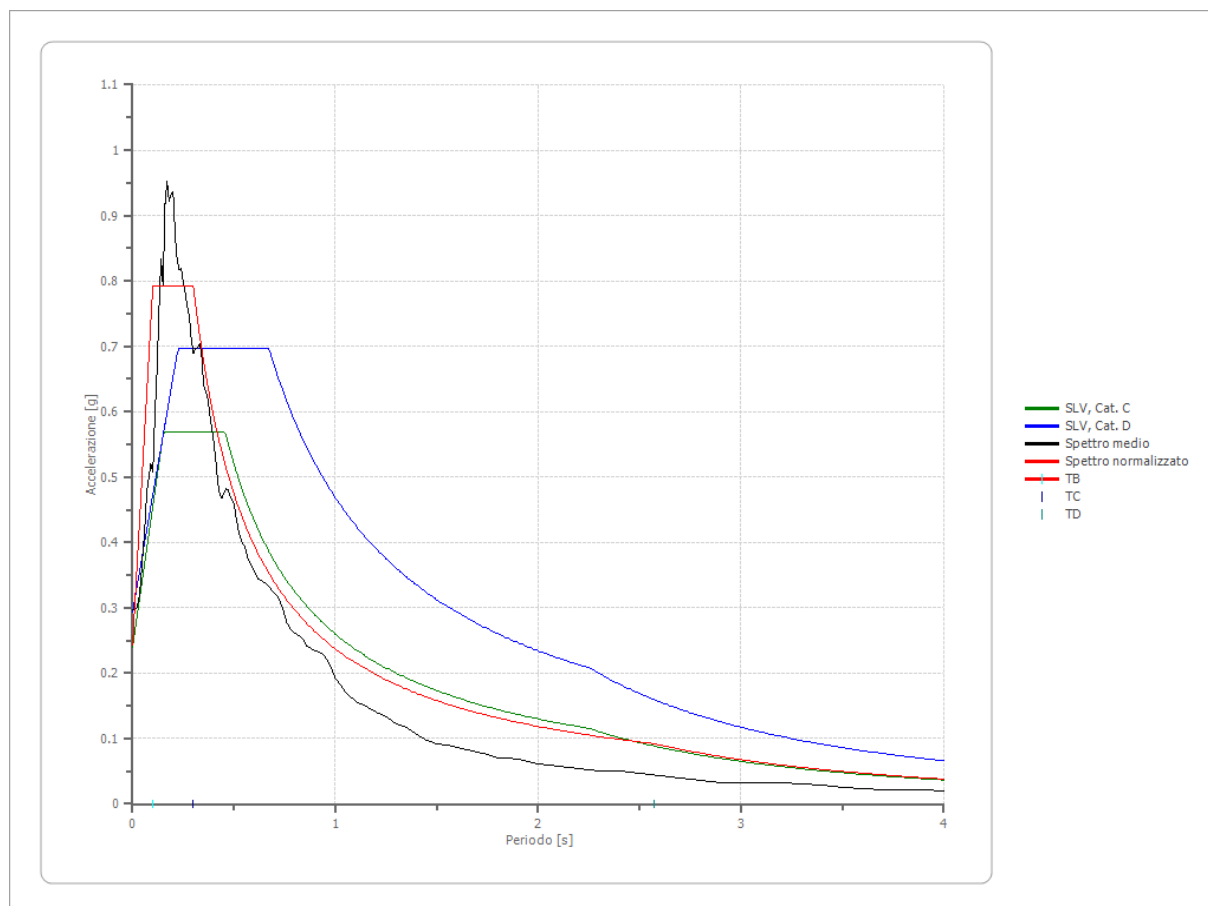


Figura n.16: confronto tra lo spettro in accelerazione calcolato per il sito di riferimento e lo spettro di risposta relativo alla categoria di sottosuolo C e D

ACCELERAZIONE MASSIMA ATTESA (PGA)

Rispetto ai terremoti precedentemente analizzati si riportano i diagrammi (**Figura n.17**) e i valori numerici di accelerazione A_{max} dal bedrock fino al piano campagna:

	0.0 [m]	2.0 [m]	6.0 [m]	13.0 [m]	21.0 [m]	51.0 [m]	85.0 [m]	120.0 [m]
TR475_ID15834_1 [g]	0.273	0.249	0.197	0.119	0.127	0.105	0.095	0.163
TR475_ID15834_2 [g]	0.309	0.281	0.200	0.144	0.139	0.115	0.104	0.163
TR475_ID15834_3 [g]	0.316	0.293	0.201	0.194	0.138	0.134	0.112	0.163
TR475_ID15834_4 [g]	0.319	0.271	0.132	0.110	0.104	0.107	0.096	0.163
TR475_ID15834_5 [g]	0.254	0.249	0.238	0.229	0.187	0.129	0.093	0.163
TR475_ID15834_6 [g]	0.306	0.251	0.165	0.130	0.120	0.121	0.118	0.163
TR475_ID15834_7 [g]	0.308	0.295	0.233	0.178	0.137	0.130	0.131	0.163
media [g]	0.298	0.270	0.195	0.158	0.136	0.120	0.107	0.163
Dev. St. [g]	0.024	0.021	0.037	0.044	0.026	0.012	0.014	0.000

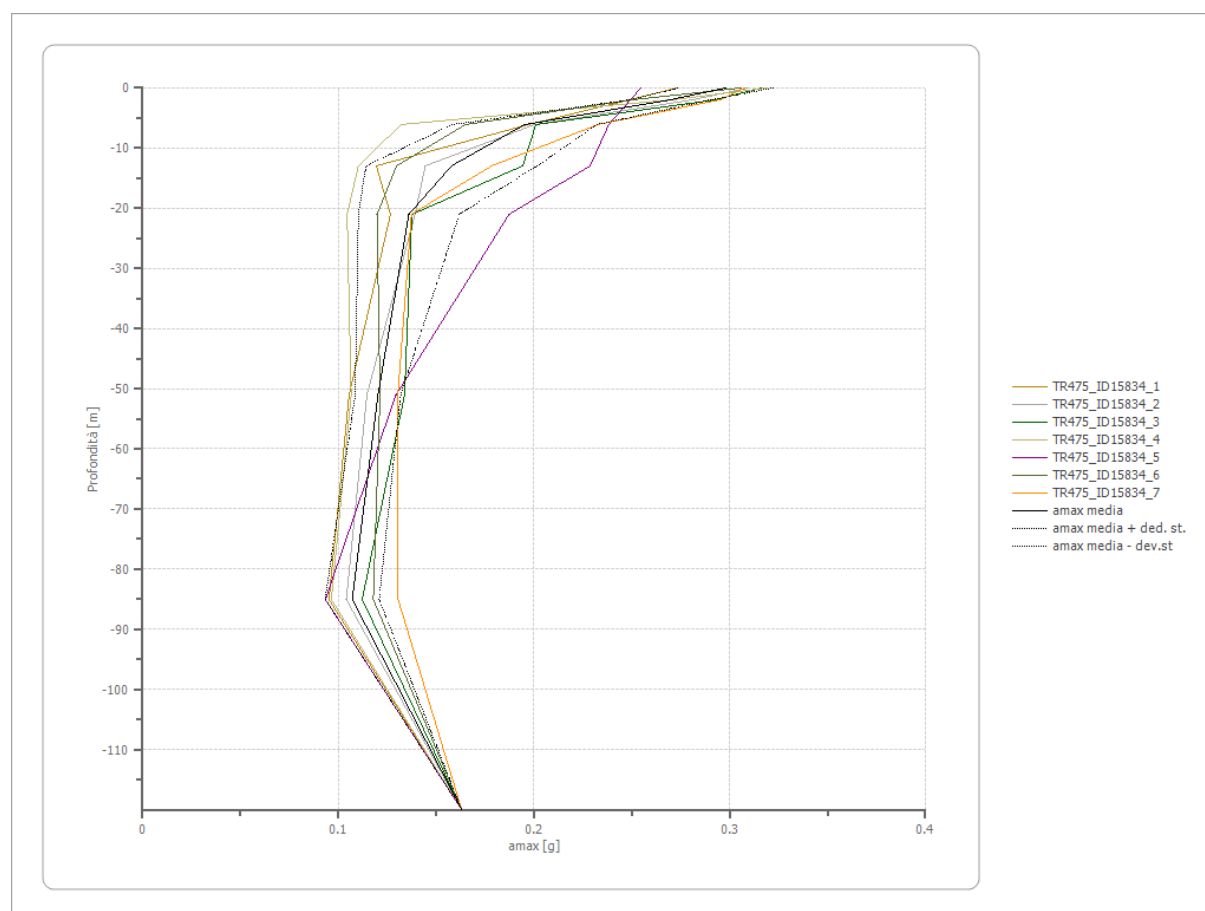


Figura n.17: andamento dell'accelerazione di picco dal bedrock al piano di campagna (A_{max})

7.2 SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

Il termine liquefazione denota la circostanza, causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, caratterizzata da deformazioni permanenti significative o dall'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno. Il rischio di liquefazione deve essere valutato per tutti i terreni suscettibili di tale comportamento.

Nel sito in oggetto i terreni posizionati nei primi metri dal piano di campagna corrispondono a depositi alluvionali coesivi e granulari da mediamente a molto consistenti o addensati, privi di falda.

Sulla base delle precedenti considerazioni si definisce il terreno di fondazione, per caratteristiche idrogeologiche, litostratigrafiche e geomeccaniche, non suscettibile di liquefazione.



8. CONCLUSIONI GENERALI

I sopralluoghi e i rilevamenti effettuati hanno permesso di definire le condizioni geologiche, idrogeologiche, sismiche e di stabilità generale del terreno utili alla valutazione di fattibilità dell'intervento di riqualificazione urbana dell'ambito "Borgo Manzini".

MODELLAZIONE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E GEOTECNICA

La **modellazione geologica e idrogeologica** del sito è stata eseguita con l'ausilio di prove penetrometriche supportate da dati bibliografici di riferimento per la zona. La verifica ha evidenziato una spessa coltre alluvionale costituita da argilla, limo e sabbia in proporzioni variabili, fino a -5,6 m di profondità; da -5,6 m a -8,4 m di profondità è presente uno strato a comportamento misto (granulare e coesivo) costituito prevalentemente da limo sabbioso e ghiaioso alternato ad argilla limosa, disposta in strati sottili; da -8,4 m fino a profondità variabili da -10 a -20 metri da p.c. è presente un orizzonte ghiaioso addensato poggiante su depositi sabbioso-ghiaiosi di ambiente costiero.

Il livello di soggiacenza della **falda** freatica rilevata in pozzi limitrofi, catalogate dal Servizio Sismico e Geologico della Regione Emilia-Romagna e dall'Arpa Emilia-Romagna, sono comprese tra -20 e -40 m di profondità.

I valori di resistenza meccanica del terreno hanno consentito la creazione di un **modello geotecnico** di riferimento per l'area.

MODELLAZIONE SISMICA E RISPOSTA SISMICA LOCALE

Le indagini geofisiche hanno permesso di ottenere un modello sismostratigrafico utile all'**Analisi di Risposta Sismica Locale**, con un grado di approfondimento appropriato alla tipologia/classe d'uso degli edifici e conforme alle disposizioni di cui alla Deliberazione della Giunta Regionale (DGR) n.2193/2015, alle NTC 2018 e alle disposizioni generali contenute negli strumenti urbanistici comunali.

Si è quindi stimata l'amplificazione del moto in superficie rispetto al bedrock, in funzione della frequenza, e si è definito lo spettro di risposta dell'oscillatore armonico tipo ad un grado di libertà, in funzione del periodo proprio della struttura e per uno smorzamento tipico del 5%.

Il confronto operato in termini spettrali con le Categoria di sottosuolo "C" (e "D") ha consentito di accertare come variano gli effetti amplificativi al variare dei diversi periodi.

Gli effetti di sito trovano ragione nella presenza di terreni che, sotto il profilo dinamico, hanno rigidezze localmente elevate, ma che sono separati da interstrati a minor rigidezza tali da determinare una amplificazione selettiva.

Il terzo livello di approfondimento è stato espletato con la finalità di valutare l'effettivo grado di pericolosità sismica locale delle aree potenzialmente instabili.

RISCHIO IDRAULICO E PROTEZIONE DELLE ACQUE SOTTERRANEE

Per il **rischio idraulico** si sono considerate le sole mappe del reticolo idrografico secondario in quanto il reticolo principale ha come elemento di pericolosità il fiume Secchia, che ricade a quote e distanza non influenti con il comparto oggetto di studio. La porzione di territorio di interesse ricade interamente su aree a pericolosità media, caratterizzate da alluvioni poco frequenti, aventi tempi di ritorno tra 100 e 200 anni (P2-M). Per il rischio medio (R2), in cui ricade la quasi totalità dell'area di interesse, sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche.

In relazione alle caratteristiche di vulnerabilità, criticità e potenzialità delle risorse idriche si riferisce che per l'area di interesse NON sono presenti "*Zone di tutela dei caratteri ambientali di laghi, bacini e corsi d'acqua*".

Per quanto attiene la tutela qualitativa e quantitativa delle risorse idriche superficiali e sotterranee, l'area ricade nelle "*Zone di protezione delle acque sotterranee nel territorio di pedecollina-pianura*",

per cui sono previste la tutela qualitativa e quantitativa delle risorse idriche sotterranee, in riferimento all'utilizzo idropotabile delle medesime. Per il **Settore B** (aree caratterizzate da ricarica indiretta della falda, generalmente comprese tra la zona A e la media pianura) vanno rispettate le disposizioni dell'art. 45 delle norme del PTA e valgono le disposizioni generali di cui all'art. 85 e all'art. 82 delle norme di attuazione del PTCP.

Nel caso in questione, la **classe di infiltrazione media**, prevede la disciplina sulla prevenzione, messa in sicurezza o riduzione del rischio relativa ai centri di pericolo di cui all'art. 45, comma 2, lett. a2) delle norme del PTA, riportata e dettagliata all'Allegato 9 delle norme. Inoltre, per la classe di infiltrazione media, i nuovi sistemi fognari pubblici e quelli realizzati dai soggetti attuatori degli interventi previsti dalla pianificazione urbanistica comunale devono essere realizzati con tecnologie e materiali atti a garantirne la tenuta, con particolare riferimento al collegamento tra il collettore e i pozzetti d'ispezione, al fine di precludere ogni rischio d'inquinamento. Le medesime garanzie costruttive debbono essere riservate anche agli altri manufatti in rete (es. impianti di sollevamento ecc.) e alle strutture proprie degli impianti di depurazione. Per tutte le reti ed i manufatti fognari pubblici dovrà essere prevista una verifica della tenuta idraulica. I regolamenti urbanistici comunali dovranno contenere disposizioni in tal senso.

VALUTAZIONE DI FATTIBILITÀ

I rilievi geologici, geotecnici e geofisici, unitamente alla raccolta di informazioni storiche sulla stabilità generale dell'area di intervento ovvero su eventuali fenomeni di dissesto testimoniano che l'area di intervento, e un suo congruo intorno, non è interessata da fenomeni di instabilità.

Gli aspetti di pericolosità sismica locale rilevati attraverso il III livello di approfondimento forniscono un quadro compatibile con quanto rilevato negli studi di Microzonazione Sismica pubblicati a cura dell'Amministrazione pubblica del Comune di Casalgrande.

Sulla base di quanto emerso si ritiene che l'intervento proposto sia compatibile con l'assetto geomorfologico, geotecnico e idrogeologico dei luoghi. A condizione di rispettare il buon regime delle acque nel bacino di riferimento, si ritiene inoltre che sarà garantito il mantenimento della stabilità geologica e idrogeologica del sito.

Analizzate le condizioni di stabilità generale dei terreni interagenti con il manufatto, nell'ottica del progetto di riqualificazione edilizia, rigenerazione e riuso dell'immobile ubicato nel comparto "Borgo Manzini", si ritiene pertanto il terreno **idoneo** dal punto di vista geologico, idrogeologico, geotecnico e sismico **alla realizzazione degli interventi urbanistici proposti**.

Le opere, nell'insieme, non comportano variazioni delle condizioni idrogeologiche dell'area, non modificano sostanzialmente il regime di deflusso delle acque superficiali e sotterranee e non creano condizioni sfavorevoli alla stabilità generale del terreno.

In fase esecutiva occorrerà provvedere ad un approfondimento di indagini proporzionato al progetto.

27/09/2021

Dott. Geol. Francesco Dettori



Francesco Dettori

