

RELAZIONE GEOLOGICA

AI SENSI DELLA DGR XI/2616 - D.M. 17 GENNAIO 2018

AMPLIAMENTO INDUSTRIALE

COMUNE DI MOTTA BALUFFI

PROVINCIA DI CREMONA

COMMITTENTE: STORTI IMMOBILIARE S.R.L.

IL TECNICO: DOTT. GEOL. ROSARIO SPAGNOLO

San Giorgio Bigarello, Dicembre 2021

Dott. Geol. Rosario Spagnolo - GEOLOGIA TECNICA-IDROGEOLOGIA

Via Stradella,35 - San Giorgio Bigarello (MN) 46051 Tel.Fax. 0376.262759 - 338.2949637 - e-mail ro.spagnolo@tiscali.it

SOMMARIO

PREMESSA.....	2
1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	6
2 ANALISI DELLO STUDIO GEOLOGICO COMUNALE.....	8
2.1 CARTA DEI VINCOLI.....	8
2.2 carta della fattibilita'.....	9
2.3 classificazione sismica del sito.....	11
3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRUTTURALE.....	12
4 ASSETTO MORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO.....	15
5 RISCHIO ALLUVIONI (PGRA).....	18
6 VUNERABILITA' DELL'ACQUIFERO.....	18
7 RELAZIONE SULLA PERICOLOSITA' SISMICA.....	21
7.1 PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE.....	21
8 ANALISI SISMICA.....	23
8.1 METODOLOGIA MASW.....	24
8.2 CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO.....	29
9 APPROFONDIMENTO DI 1° E 2° LIVELLO.....	31
9.1 APPROFONDIMENTO SISMICO DI II° LIVELLO.....	32
10 relazione sulle indagini geognostiche.....	36
10.1 PROFILO STRATIGRAFICO.....	36
11 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI IN CONDIZIONI SISMICHE.....	37
12 CONCLUSIONI.....	41

PREMESSA

Su incarico della Soc. Storti Immobiliare e in accordo con il tecnico progettista, nel mese di dicembre 2021 è stato eseguito il presente studio geologico-geotecnico e sismico per la costruzione di un nuovo capannone, a nord dell'abitato di Motta Baluffi, in località Solarolo Monasterolo (via Delle Brede).

L'area in oggetto del presente lavoro è situata nel comune di Motta Baluffi ed è contraddistinta nel catasto con foglio 3 e mappali 192 e 194.

Il fine della presente indagine geologica è quello di garantire la sicurezza e la funzionalità del complesso opere-terreni e di assicurare, in generale, la stabilità del territorio sul quale saranno indotte sollecitazioni e deformazioni delle future fondazioni.

In ottemperanza alla normativa vigente, il presente studio è stato articolato in una serie di valutazioni, di carattere tematico, effettuate sulla base di un'accurata ricerca storico-bibliografica e di rilievi diretti di campagna. Ciò ha consentito di definire i lineamenti geologici, idrogeologici, morfologici e sismici della zona in esame e di rappresentarli su cartografie di dettaglio.

Allo scopo di ricostruire la litostratigrafia dei terreni di fondazione, l'assetto idrogeologico generale e locale, un modello litostratigrafico, e soprattutto di fornire una stima dei principali parametri geotecnici per la definizione del modello geotecnico del primo sottosuolo, relativo ai terreni che costituiscono il "volume significativo" interessato dalle fondazioni, si è effettuata una apposita campagna geognostica in sito, oltre all'esame geomorfologico, al rilevamento geologico diretto dell'area d'intervento e di un suo significativo intorno ed alla ricerca dei dati bibliografici e cartografici.

La campagna d'indagini ha previsto la realizzazione di due prove penetrometriche statiche, che, unitamente ai dati desunti da studi precedenti, hanno permesso la ricostruzione dell'assetto litostratigrafico e la caratterizzazione geotecnica del sottosuolo in esame, in base ai quali si sono potuti valutare gli effetti provocati dall'intervento in progetto e le possibili problematiche di carattere geologico.

In ottemperanza alla normativa, il presente studio è stato articolato in una serie di valutazioni, di carattere tematico, effettuate sulla base di un'accurata ricerca storico-bibliografica e di

rilievi diretti di campagna. Ciò ha consentito di definire i lineamenti geologici, idrogeologici, morfologici e sismici della zona.

L'approfondimento e il dettaglio delle analisi e delle indagini sono stati commisurati alla complessità geologica del sito, alle finalità progettuali e alle peculiarità dello scenario territoriale in cui l'intervento si inserisce.

Di seguito sono riportate le diverse fasi nelle quali è stato articolato lo studio:

1. Ricerca bibliografica relativa a lavori ed indagini già svolte nell'area in questione con l'acquisizione di tutti i dati utili all'inquadramento preventivo del progetto.
2. Rilevamento geologico, idrogeologico e geomorfologico di superficie della zona direttamente interessata dall'intervento e dei settori circostanti.
3. Progettazione di una campagna di indagini geognostiche, di prove in sito necessarie per la stesura della relazione geologica - geotecnica.
4. Redazione delle carte tematiche di sintesi più significative e di specifici elaborati.
5. Verifica della compatibilità tra le caratteristiche geologiche generali dell'area e le scelte progettuali con evidenziazione delle problematiche e delle necessarie prescrizioni geologico – tecniche puntuali.

Progetto di indagine geognostica

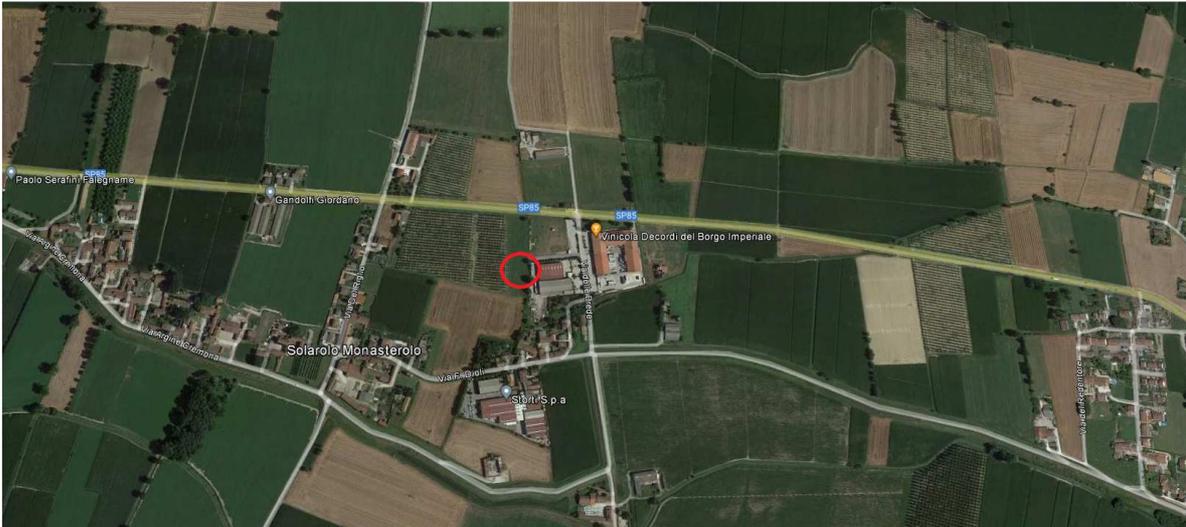
La campagna geognostica sarà così articolata:

- Esecuzione di 2 prove penetrometriche (CPT), spinte alla profondità di 10.0 m da p.c.
- Esecuzione di 1 prova MASW finalizzata alla determinazione delle Vs necessaria alla definizione della categoria sismica del sottosuolo.

I valori registrati in profondità dalla prova, opportunamente integrati e commisurati con i dati geologici ed idrogeologici della zona, hanno consentito la determinazione dei seguenti parametri:

- ricostruzione e descrizione della stratigrafia del sottosuolo;

- individuazione della falda idrica;
- parametrizzazione geotecnica del terreno di fondazione;
- classificazione sismica dei terreni di fondazione come definito nel D.M. 17.01.18;
- verifica alla liquefazione dei terreni in condizioni dinamiche;
- verifica agli stati limiti.



Il presente studio, oltre che alla verifica delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni, è finalizzato alla valutazione della fattibilità geologica dell'intervento in progetto, alla verifica della sua compatibilità con le Norme Geologiche di Attuazione del PGT di Motta Baluffi, all'individuazione delle problematiche e criticità di carattere geologico e geotecnico da approfondire nel corso degli accertamenti esecutivi. Proponendo particolare attenzione alla interazione del progetto con l'assetto geomorfologico ed idrogeologico dell'intero settore e alle eventuali interferenze con le preesistenze poste al controno dell'area di intervento.

Di seguito sono riportate le diverse fasi nelle quali è stato articolato lo studio:

- Ricerca bibliografica relativa a lavori ed indagini già svolte nell'area in questione con l'acquisizione di tutti i dati utili all'inquadramento preventivo del progetto.
- Rilevamento geologico, idrogeologico e geomorfologico di superficie della zona direttamente interessata dall'intervento e dei settori circostanti.
- Progettazione di una campagna di indagini geognostiche, di prove in sito necessarie per la stesura della relazione geologica - geotecnica.
- Redazione delle carte tematiche di sintesi più significative e di specifici elaborati.
- Verifica della compatibilità tra le caratteristiche geologiche generali dell'area e le scelte progettuali con evidenziazione delle problematiche e delle necessarie prescrizioni geologico – tecniche puntuali.

1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Vengono richiamate le norme a cui si è fatto riferimento per la stesura del presente documento:

- AGI 1963: Nomenclatura geotecnica e classifica delle terre. "Geotecnica", n. 4;
- Legge n°. 64 del 02/02/1974: Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;
- AGI 1977: Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche. "Quaderno", n. 1;
- D.M. LL.PP. 11 marzo 1988: Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Pubblicato sul Suppl. Ord. alla G.U. n. 127 del 1 giugno 1988;
- C.M. LL.PP. n. 30483 del 1988: Istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Circolare del 24 settembre 1988, a cura del Servizio tecnico centrale del ministero dei Lavori Pubblici;
- AGI 1990: Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio;
- D.M. 16 Gennaio 1996: Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche;
- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C: Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996;
- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG: Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996;
- Ord. P.C.M. 20/03/2003 n. 3274: Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica;
- D.M. 14.1.2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche";
paragrafo 6.1.2: prescrizioni generali;
paragrafo 6.2: articolazione del progetto;

paragrafo 6.2.1: caratterizzazione e modellazione geologica del sito;

- CIRCOLARE 2 febbraio 2009, n. 617 Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche;
- D.G.R. n° 2616 del 30.11. 2011: Aggiornamento dei "Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio";
- D.M. del 17.01.2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni";
- CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018;
- DM 30 aprile 2020 - DECRETO DEL MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI - Approvazione delle linee guida per l'individuazione, dal punto di vista strutturale, degli interventi di cui all'articolo 94-bis, comma 1, del d.P.R. 6 giugno 2001, n. 380, nonché delle varianti di carattere non sostanziale per le quali non occorre il preavviso di cui all'articolo 93.
- LR 20/2020.
- DGR 4317/2021 - Indirizzi per l'uniforme applicazione del decreto del ministro delle infrastrutture e dei trasporti 30 aprile 2020, "approvazione delle linee guida per l'individuazione, dal punto di vista strutturale, degli interventi di cui all'articolo 94 bis, comma 1, del decreto del presidente della repubblica 6 giugno 2001, n. 380, nonché delle varianti di carattere non sostanziale per le quali non occorre il preavviso di cui all'articolo 93".

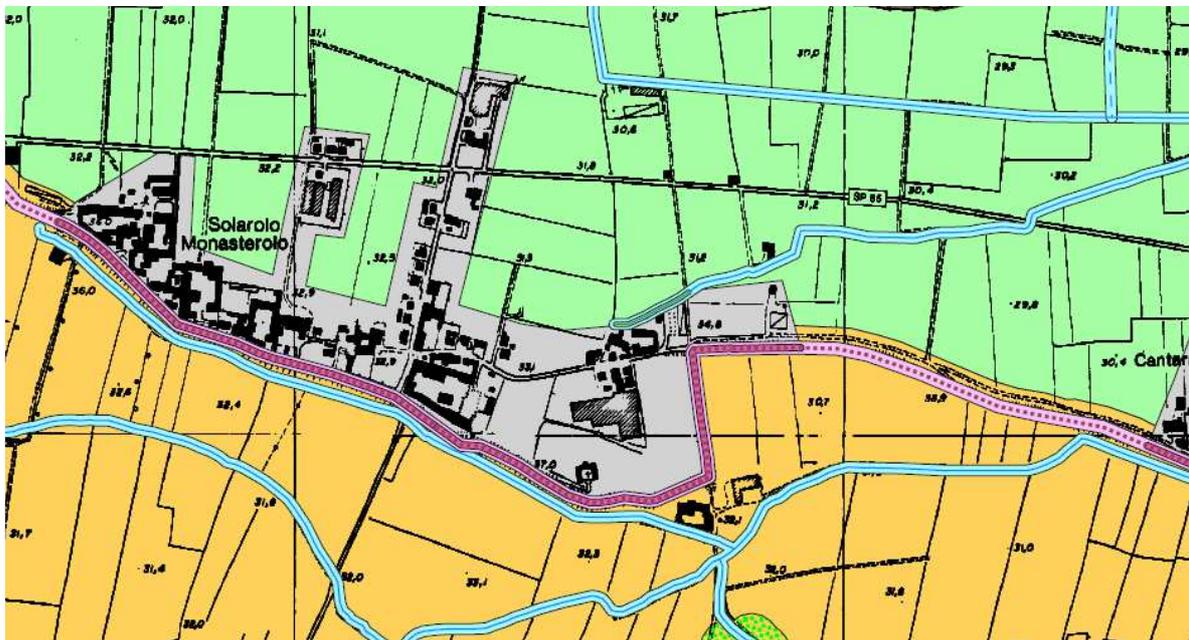
2 ANALISI DELLO STUDIO GEOLOGICO COMUNALE

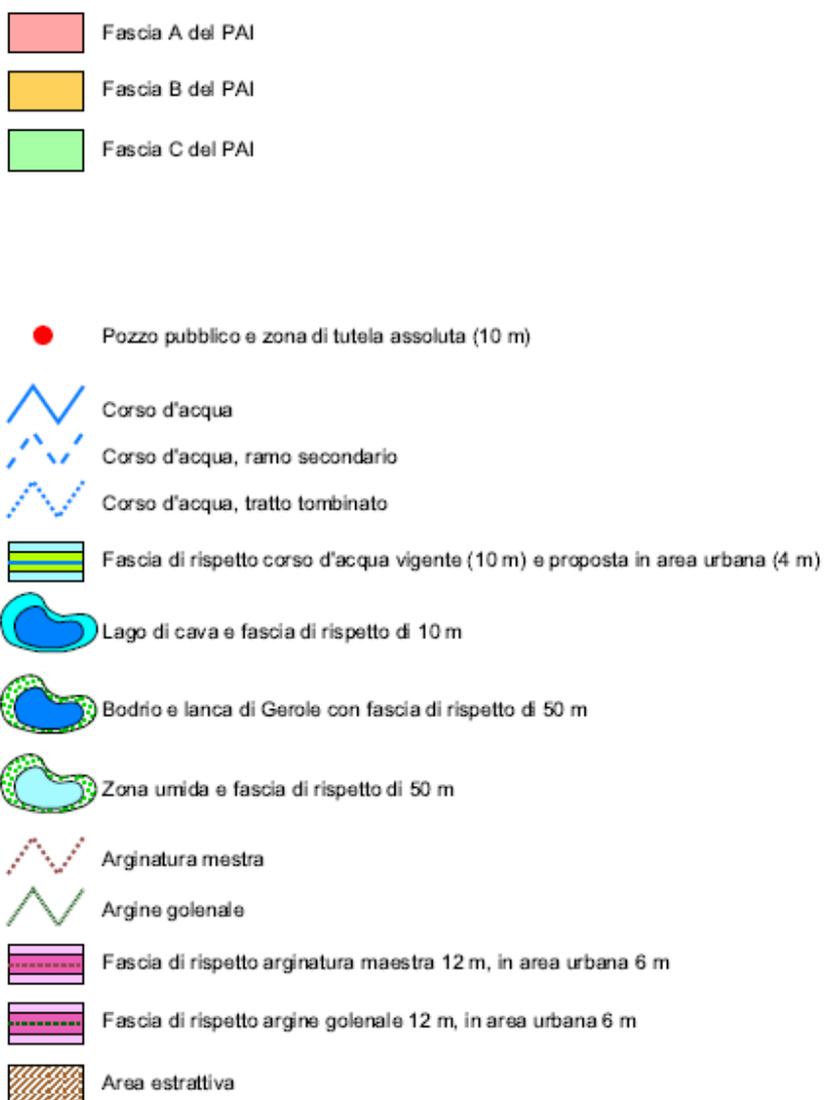
Nel presente paragrafo si procede all'esame dello studio geologico comunale redatto a supporto del PGT.

2.1 CARTA DEI VINCOLI

Dall'analisi della carta dei vincoli, realizzata in occasione del P.G.T., il sito non ricade all'interno di alcun vincolo di carattere geologico-idrogeologico.

Estratto della carta dei vincoli



LEGENDA**Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico:****2.2 CARTA DELLA FATTIBILITA'**

L'area ricade in classe di fattibilità terza (Fascia C del P.A.I.) ovvero "fattibilità con consistenti limitazioni".

Le norme geologiche riportano: comprende i terreni esterni all'arginatura maestra che sono tutti compresi in Fascia C del PAI, caratterizzati da vulnerabilità idrogeologica medio alta, caratteristiche geotecniche da buone a discrete, in questa sottoclasse sono compresi gli abitato di Motta Baluffi e Solarolo Monasterolo.

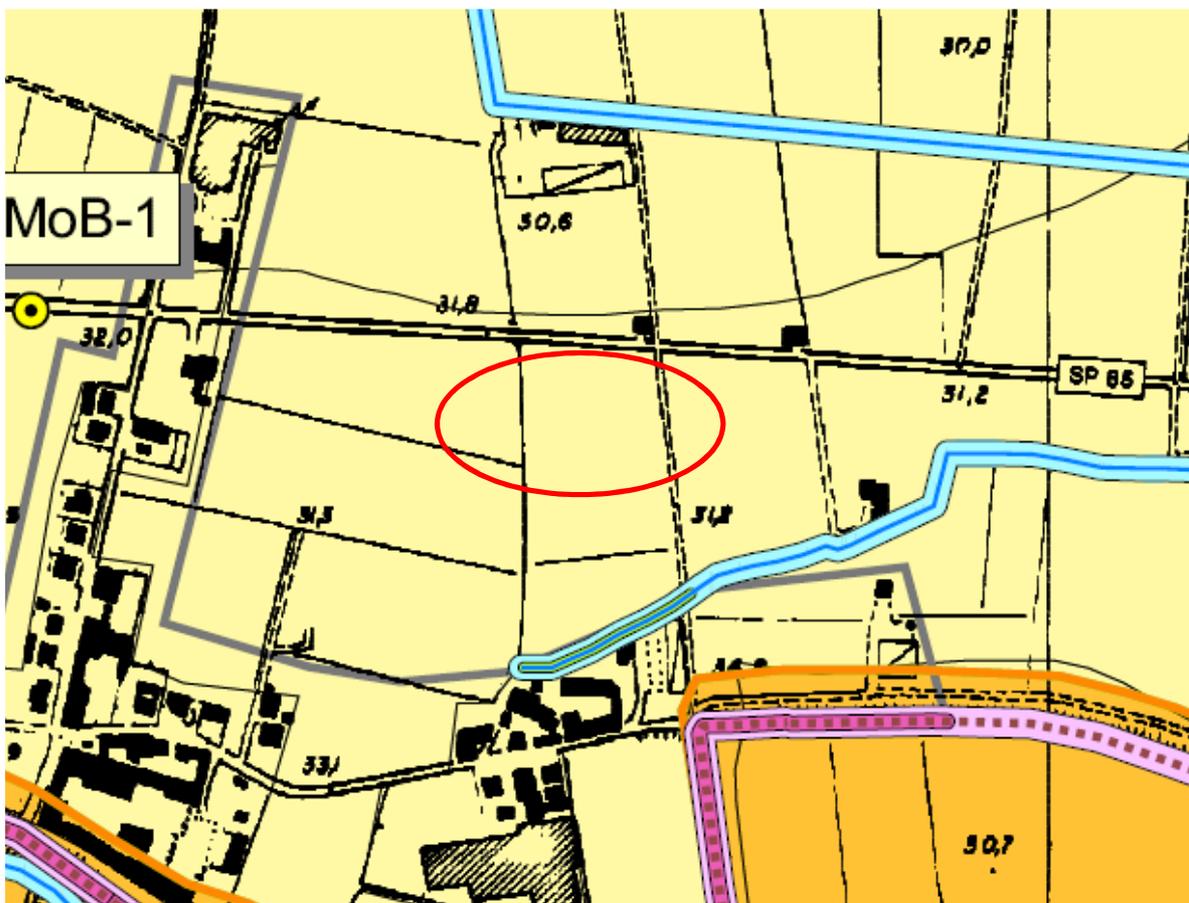
Non è consentito di eseguire edifici interrati, vasche di contenimento liquami, al di sotto del p.c. e prive di impermeabilizzazione.

Il sito studiato, così come contemplato prevede le seguenti fasi di lavoro:

- indagine geotecnica con prove in sito (tale attività è stata svolta attraverso l'esecuzione delle prove penetrometriche eseguite in sito);
- esecuzione di rilevamento geologico di dettaglio;
- esecuzione di indagine geofisica.

Le norme geologiche, inoltre, prevedono approfondimenti di carattere idrogeologico e di verifica della soggiacenza della falda freatica, l'indagine dovrà prevedere l'analisi puntuale sulla vulnerabilità idrogeologica, in relazione alla tipologia dell'intervento.

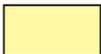
Estratto della carta della fattibilità



LEGENDA

Classi di fattibilità geologica:

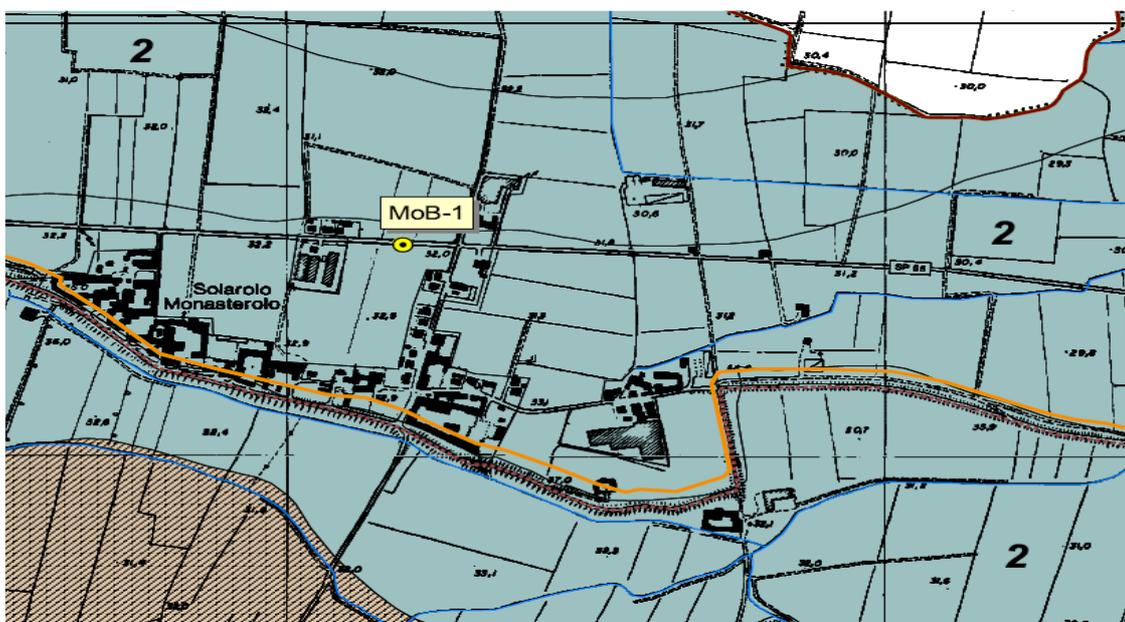
Classe 3 - Fattibilità con consistenti limitazioni

- 3a**  Fascia C del PAI
- 3b**  Fascia B del PAI
- 3c**  Fascia di rispetto corso d'acqua vigente (10 m) e proposta in area urbana (4 m)

2.3 CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO

La carta della pericolosità sismica locale fa ricadere l'area in esame in zona Z4a: zone di pianura con presenza di depositi fluvio-glaciali granulari e/o coesivi. L'area in esame è soggetta al primo e secondo livello di approfondimento sismico e alla verifica dell'indice di liquefazione. La normativa contempla il primo e secondo livello di approfondimento sismico, tale approfondimento dovrà verificare il fattore di amplificazione (F_a), qualora tale valore calcolato sia maggiore del valore soglia comunale si dovrà procedere al 3° livello di approfondimento, se invece rimane sotto soglia dovrà essere utilizzato lo spettro di risposta elastico previsto dal D.M. 17 gennaio 2018.

tralcio della tavola della pericolosità sismica



Classi di pericolosità sismica locale:**Z2**

Terreni di fondazione particolarmente scadenti (poco addensati, granulari, fini, con falda superficiale). Effetti: cedimenti e/o liquefazioni.

**Z4a**

Fondovalle con depositi alluvionali granulari e/o coesivi. Effetti: amplificazioni litologiche e geometriche.

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRUTTURALE

Le considerazioni di carattere geologico generale sono trattate sinteticamente in questa sede vista la natura applicativa del lavoro.

L'area studiata è caratterizzata da superfici pianeggianti o debolmente ondulate e da una certa ricchezza di forme di origine fluviale con presenza di idrografia di tipo meandriforme, prevalentemente costituita da depositi fluviali sabbioso limosi, generalmente privi, nei suoli, di pietrosità e scheletro prodotti dal divagare del fiume Po.

L'assetto geomorfologico, in questo settore della pianura, è stato fortemente influenzato dalla successione di fasi erosive e deposizionali conseguenti alle variazioni del livello marino di base; in tali condizioni si è sviluppato, nel corso del Quaternario continentale, il processo di colmamento ed il modellamento dell'area.

Dal punto di vista geomorfologico, il territorio nel quale si estende il Comune di Motta Baluffi, ricade nel sistema delle valli di pianura corrispondenti ai piani di divagazione dei corsi d'acqua attivi o fossili, localmente corrispondenti ai piani di divagazione del fiume Po. Sono costituiti da depositi alluvionali olocenici riferibili allo stadio di accrescimento più recente della Pianura Padana.

Immediatamente a nord del territorio di Motta Baluffi, si ritrova il sistema della piana di alluvionamento wurmiano, che costituisce il Livello Fondamentale della Pianura, formato dai depositi fluvioglaciali e fluviali pleistocenici legati al colmamento alluvionale del bacino padano durante l'ultima glaciazione quaternaria. Inoltre si individuano le cosiddette *Aree miste* costituite dalle aree urbane, corsi d'acqua, cave e depositi fluviali attivi.

Il territorio comunale di Motta Baluffi ricade interamente nell'ambito delle valli alluvionali, costituita dai sedimenti olocenici, corrispondente ai piani di divagazione del Po e pertanto le forme, i processi e i depositi naturali presenti sono determinati dall'azione morfogenetica predominante del fiume.

L'area esaminata presenta una notevole omogeneità dal punto di vista geologico ed una bassa energia del rilievo, con scarse evidenze morfologiche. I caratteri del territorio stanno ad indicare una prevalenza dell'attività deposizionale rispetto a quella erosiva attraverso la diffusa presenza di forme di aggradazione quali: barre di meandro, dossi ed argini fluviali naturali, mentre le forme d'erosione sono più ridotte e localizzate lungo l'attuale corso del Fiume Po.

Nell'ambito del territorio comunale oggetto della presente indagine, in base ai caratteri geomorfologici, litologici e geopedologici rilevati, sono state riconosciute le seguenti unità, a partire dalla più recente (vedi Carta geologica-geomorfologica):

VA6 Aree golenali del fiume Po. Superfici adiacenti ai corsi d'acqua ed isole fluviali inondabili durante gli eventi di piena ordinaria. Nelle piane di tracimazione ed a meandri coincidono con le "golene aperte".

VA5 "Golene protette" da arginature artificiali, inondabili durante gli eventi di piena straordinaria, caratteristiche delle sole piane alluvionali di tracimazione e meandriformi.

VA4 Conche chiuse di forma subcircolare, artificialmente drenate, rappresentanti le pareti depresse delle piane alluvionali di tracimazione e meandriformi, costituite da sedimenti molto fini da cui dipende lo scarso drenaggio interno dei terreni.

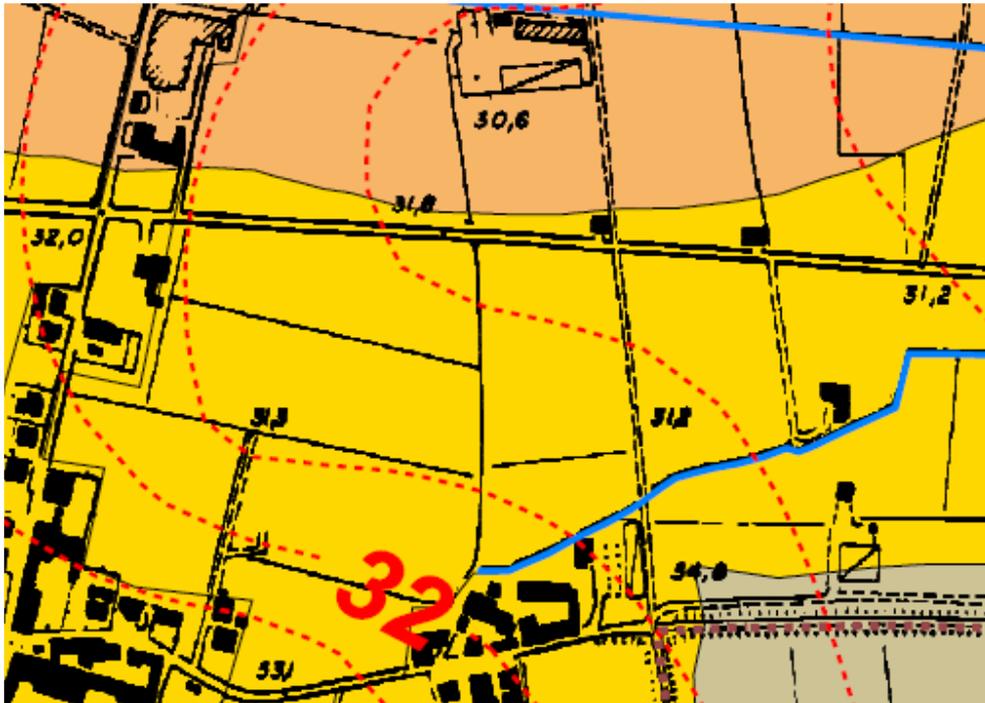
VA3 Superficie modale subpianeggiante della piana alluvionale a meandri e di tracimazione, facente transizione tra le aree più rilevate e quelle più depresse.

VA1 Dossi di forma generalmente allungata, poco rilevati e dolcemente raccordati alle superfici adiacenti. Sono diffusi soprattutto nelle piane alluvionali di tracimazione e meandriformi.

VT3 Superfici di raccordo tra il Livello Fondamentale della Pianura e le piane alluvionali dei corsi d'acqua attivi, generalmente poco inclinate (bassa pendenza), originatisi per sovralluvionamento e ricopertura dell'orlo di terrazzo morfologico preesistente.

L'area si caratterizza per la presenza di alluvioni dei corsi d'acqua, con spessori di 400-500 m proprio in corrispondenza del settore centro-meridionale della provincia cremonese.

Estratto della carta geologica



LEGENDA

Unità geomorfologiche:

AI Alluvioni recenti

■ Valli alluvionali:

Piane alluvionali inondabili con dinamica prevalentemente deposizionale costituite da sedimenti recenti o attuali (Olocene recente ed attuale)

VA6 Aree golenali del fiume Po. Superfici adiacenti ai corsi d'acqua ed isole fluviali inondabili durante gli eventi di piena ordinaria. Nelle piane di tracimazione ed a meandri coincidono con le "golene aperte".

VA5 "Golene protette" da arginature artificiali, inondabili durante gli eventi di piena straordinaria, caratteristiche delle sole piane alluvionali di tracimazione e meandriformi.

VA4 Conche chiuse di forma subcircolare, artificialmente drenate, rappresentanti le pareti depresse delle piane alluvionali di tracimazione e meandriformi, costituite da sedimenti molto fini da cui dipende lo scarso drenaggio interno dei terreni.

VA3 Superficie modale subpianeggiante della piana alluvionale a meandri e di tracimazione, facente transizione tra le aree più rilevate e quelle più depresse.

VA1 Dossi di forma generalmente allungata, poco rilevati e dolcemente raccordati alle superfici adiacenti. Sono diffusi soprattutto nelle piane alluvionali di tracimazione e meandriformi

■ Valli terrazzate:

Superfici terrazzate costituite da "alluvioni antiche o medie", delimitate da scarpate d'erosione e variamente rilevate sulle piane alluvionali (olocene antico).

VT3 Superfici di raccordo tra il Livello Fondamentale della Pianura e le piane alluvionali dei corsi d'acqua attivi, generalmente poco inclinate (bassa pendenza), originatisi per sovralluvionamento e ricopertura dell'orlo di terrazzo morfologico preesistente.

4 ASSETTO IDROGEOLOGICO

L'analisi territoriale ha grande rilevanza per la valutazione dei fenomeni caratterizzanti un'area di pianura, in quanto gli elementi geomorfologici costituiscono la testimonianza diretta dell'evoluzione che ha interessato la zona nell'ultimo periodo geologico.

In questo contesto e date le finalità applicative della cartografia da produrre, invece, gli elementi geologico-strutturali sono stati considerati unicamente come base su cui si sono modellate le forme superficiali.

I segni di una passata divagazione del Po sul territorio sono progressivamente più evidenti da N a S: questa considerazione avvalorata ulteriormente la tesi di un progressivo spostamento verso S del grande Fiume, "trascinato" dagli elementi tettonici profondi in una loro fase piuttosto recente (Olocene). I lineamenti più antichi ai margini settentrionali, invece, sarebbero stati progressivamente occultati durante fasi alluvionali successive mentre il Fiume assumeva posizioni sempre più meridionali.

A causa dei sopra citati fattori, nei settori N-orientali del territorio gli unici elementi morfologici sono da ricercare nel fitto reticolo idrografico, buona parte del quale è alimentato da una falda molto superficiale ed assume una direzione di scorrimento orientata verso E. Va comunque sottolineato come l'assetto idrografico originale (soprattutto per quanto concerne le aste minori) sia stato fortemente alterato dall'azione antropica, finalizzata al miglioramento fondiario e a all'ottimizzazione degli interventi di bonifica.

Il flusso idrico della falda superficiale (libera) presenta una componente principale in direzione NNO-SSE con deviazione verso sud in relazione all'azione drenante esercitata dal Fiume Po. Presenta pendenze comprese tra lo 0.2 e lo 0.5 ‰ (per mille). Il gradiente idraulico è stato calcolato utilizzando i dati dei livelli piezometrici della falda libera relativi ai piezometri installati a nord di Motta Baluffi presso la località Casalorzo Geroldi e un piezometro presente nell'area di cava denominata polo S13 all'interno del comune di Motta. L'andamento della superficie piezometrica è stato ipotizzato piano, anche se è probabile che vi sia un aumento di gradiente nella zona prossima al Po, causato dalle basse quote a cui scorre oggi il fiume. La semplificazione è stata effettuata perché il dislivello tra i due piezometri utilizzati è davvero minimo e l'errore è ritenuto trascurabile.

Nella valutazione delle soggiacenze (profondità della falda libera dal p.c.) si è tenuto conto anche di una fascia di territorio allungata e depressa (un probabile paleo corso) con allineamento ovest-est, a nord del territorio comunale. Tale depressione ha il probabile effetto di abbassare la superficie piezometrica, aumentando la soggiacenza nelle aree poste più a sud e che presentano quote più rilevate. Da questo quadro generale ne consegue che la soggiacenza è generalmente compresa tra 2 e 4 m su gran parte del territorio comunale, scendendo a valori inferiori a 2 m solo nelle aree depresse lontano dalle scarpate attuali del Po. Il modello idrogeologico di riferimento, nell'area in esame, ricostruito sulla base dei dati a disposizione, individua due distinte litozone, come evidenziato dalle sezioni idrogeologiche allegate.

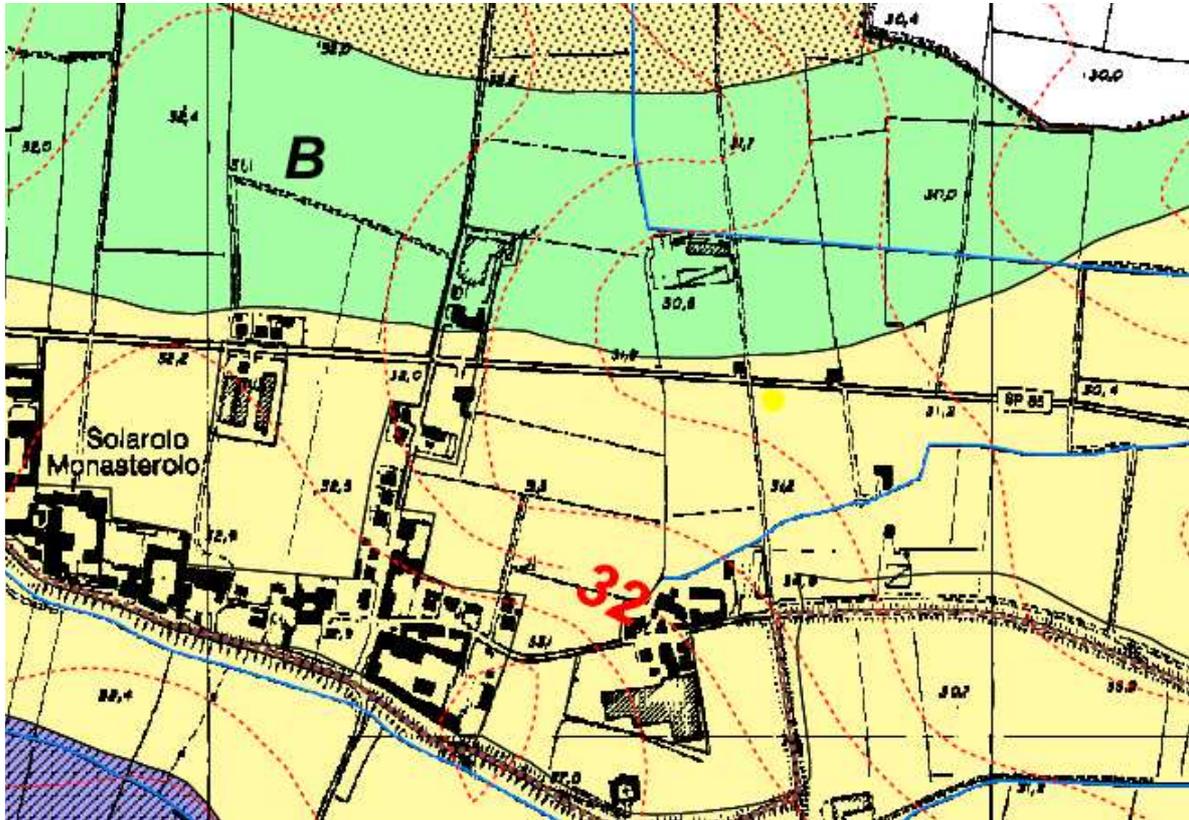
Litozona superiore S

Si estende da p.c. fino a 100-120 m circa di profondità. Comprende, oltre ai terreni che ospitano la falda libera, un complesso di livelli acquiferi difficilmente differenziabili, intercomunicanti. Da p.c. fino a 40-45 m circa di profondità si sviluppano strati prevalentemente sabbiosi con qualche livello di ghiaietto. Oltre i 45 m di profondità la continuità verticale degli strati permeabili è parzialmente interrotta dalla presenza di lenti e strati argillosi discontinui di modesto spessore.

L'alimentazione dell'acquifero avviene per infiltrazione di acque meteoriche, da corpi idrici superficiali e nel periodo estivo dall'irrigazione artificiale, con conseguente elevata vulnerabilità. La vulnerabilità degli acquiferi tende a ridursi con la profondità, grazie alla protezione esercitata dai livelli argillosi impermeabili ed alla modalità di alimentazione, tanto più remota quanto più profondo è l'acquifero.

La falda freatica è stata individuata a 3.60 m da p.c..

Estratto della carta idrogeologica



LEGENDA

Classi di permeabilità (m/s):

B	Bassa ($10^{-8} < K < 10^{-7}$)
MB	Medio-Bassa ($10^{-7} < K < 10^{-6}$)
M	Media ($10^{-6} < K < 10^{-5}$)
MA	Medio-Alta ($10^{-5} < K < 10^{-4}$)
A	Alta ($10^{-4} < K < 10^{-3}$)

Soggiacenza media della falda superficiale in m da p.c.:

	< 1.00 m (oscillante)
	1.00 - 1.50 m
	> 1.50 m

5 RISCHIO ALLUVIONI (PGRA)

In riferimento alla D.G.R. n° X/6738 si è consultata la mappa nel geoportale della Regione Lombardia riguardante le aree a rischio alluvioni al fine di verificare la pericolosità e il rischio idraulico del sito in progetto.

Dalla verifica effettuata il sito non ricade all'interno di aree interessate da alluvioni.

A tali aree si applicano le disposizioni della fascia C del P.A.I.

Ortofoto del geoportale della Lombardia del PGRA



6 VUNERABILITA' DELL'ACQUIFERO

Per la valutazione della vulnerabilità intrinseca delle acque di falda, che dipende dalle caratteristiche naturali, climatiche, pedologiche e idrogeologiche del sistema, tutte le metodologie si basano sull'esame e la sovrapposizione di alcune informazioni tematiche, più o meno approfondite e quantificate, riferite sostanzialmente:

- alle caratteristiche del suolo e la sua capacità di attenuazione della vulnerabilità;
- alle caratteristiche dello strato insaturo, sovrastante la falda, e alla sua capacità di trasmettere gli inquinanti alla falda;
- alle caratteristiche idrogeologiche e alla profondità delle falde idriche.

La vulnerabilità degli acquiferi non dipende solo dai parametri naturali, ma anche dalle pressioni a cui l'ambiente è sottoposto, sotto forma di centri di pericolo e fonti di inquinamento.

Nel caso in esame si è adottata una metodologia di valutazione della vulnerabilità complessiva, basata su più stadi di elaborazione e tematismi.

La vulnerabilità quindi rappresenta il grado di protezione degli acquiferi soggiacenti il territorio più o meno antropizzato, ed indica la suscettibilità specifica dei sistemi acquiferi ad ingerire e diffondere un inquinante idroveicolato. Essa dipende dalle caratteristiche idrodinamiche dell'acquifero e dalla litologia del terreno non saturo soprastante.

I fattori presi in considerazione per la valutazione della vulnerabilità sono:

- tipo e grado di permeabilità dei depositi;
- tipo e spessore di eventuali coperture a granulometria fine e con bassa permeabilità;
- presenza di livelli ghiaiosi sotterranei;
- soggiacenza della superficie piezometrica dell'acquifero;
- condizioni geomorfologiche particolari, quali la presenza di importanti paleovalle o di terrazzi fluviali.

Il principio su cui si basano tutti i metodi esistenti è quello di dare una valutazione ai diversi tipi di parametri presi in considerazione, valutazione che non può che essere arbitraria, con la quale si attribuiscono dei punteggi relativi alla funzione che il parametro assunto svolge nel contesto indagato.

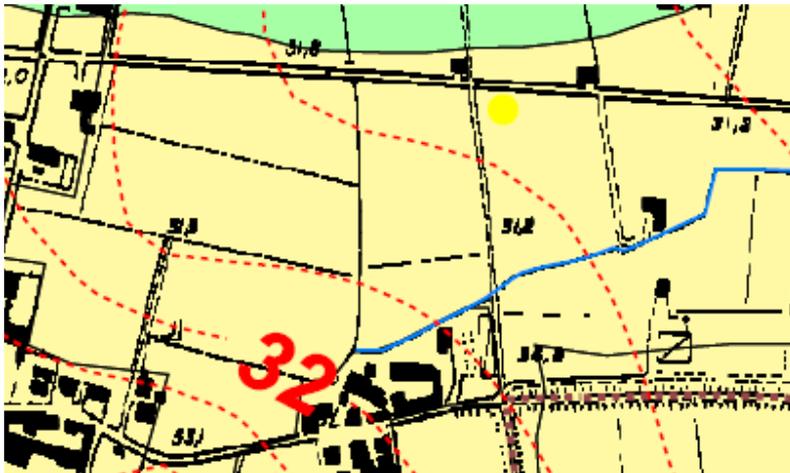
L'assunzione dei parametri è pertanto legata alla possibilità di reperire gli stessi: in modo empirico, da fonti bibliografiche, tramite prove dirette di vario genere (carotaggi, prove di portata, piezometrie, granulometrie, prove di laboratorio ecc.).

La scelta del metodo è inoltre condizionata anche dalla possibilità di reperire in modo omogeneo su un territorio i valori necessari alla parametrizzazione.

In tale metodo i fondamentali fattori presi in considerazione, che controllano la vulnerabilità sono:

- **l'accessibilità idraulica**, intesa come l'effettiva possibilità che un inquinante idroportato abbia per giungere nello strato saturo;
- **la capacità di attenuazione** dell'insaturo, ossia l'insieme dei processi che portano a diminuire la concentrazione dell'inquinante. Questi fattori si esplicano nella valutazione della vulnerabilità intrinseca tramite i seguenti parametri d'ingresso;
- tipo di acquifero (falda libera, confinata, semiconfinata...);
- litologia e grado di consolidazione dell'insaturo;
- soggiacenza.

Dalla elaborazione di tutti i fattori elencati l'area presenta una vulnerabilità medio-bassa.

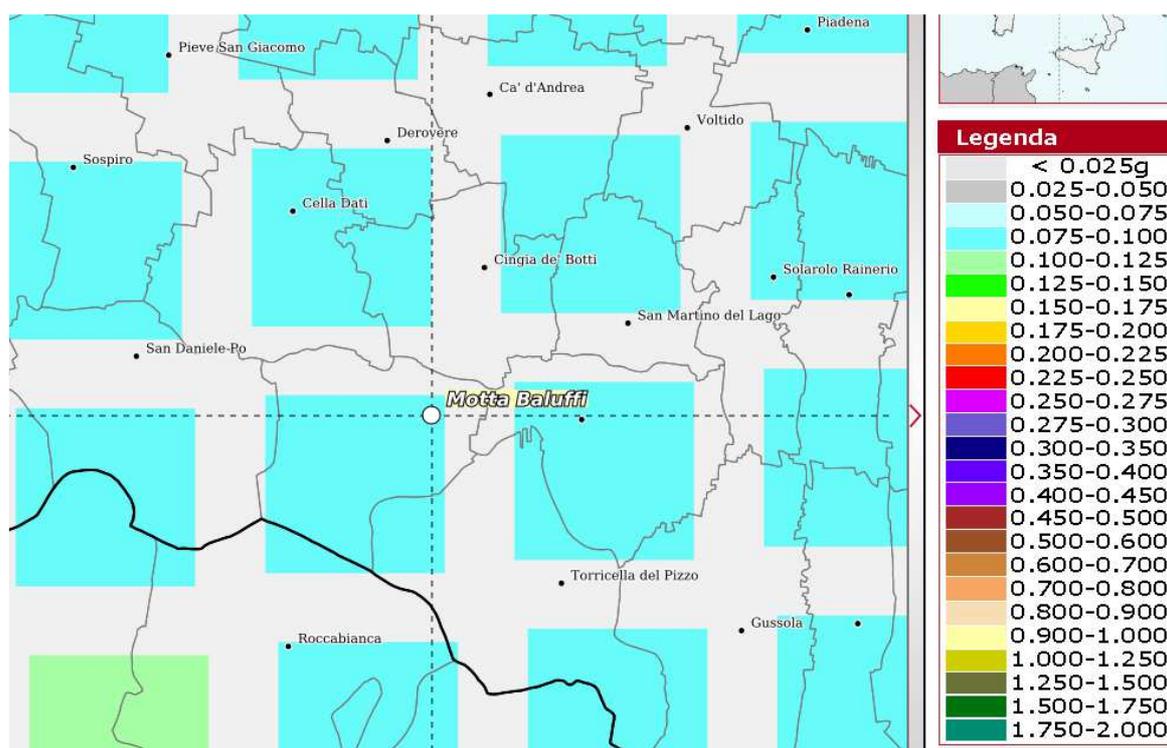


B	Bassa ($10^{-8} < K < 10^{-7}$)
MB	Medio-Bassa ($10^{-7} < K < 10^{-6}$)
M	Media ($10^{-6} < K < 10^{-5}$)
MA	Medio-Alta ($10^{-5} < K < 10^{-4}$)
A	Alta ($10^{-4} < K < 10^{-3}$)

7 RELAZIONE SULLA PERICOLOSITA' SISMICA

7.1 PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

La DGR n. X/2129 del 14 luglio 2014 la Regione Lombardia ha classificato il comune di Motta Baluffi in zona sismica 3. Nella tabella seguente si riportano i valori di accelerazione (a_g max) previsti dalla DGR per il comune in esame.

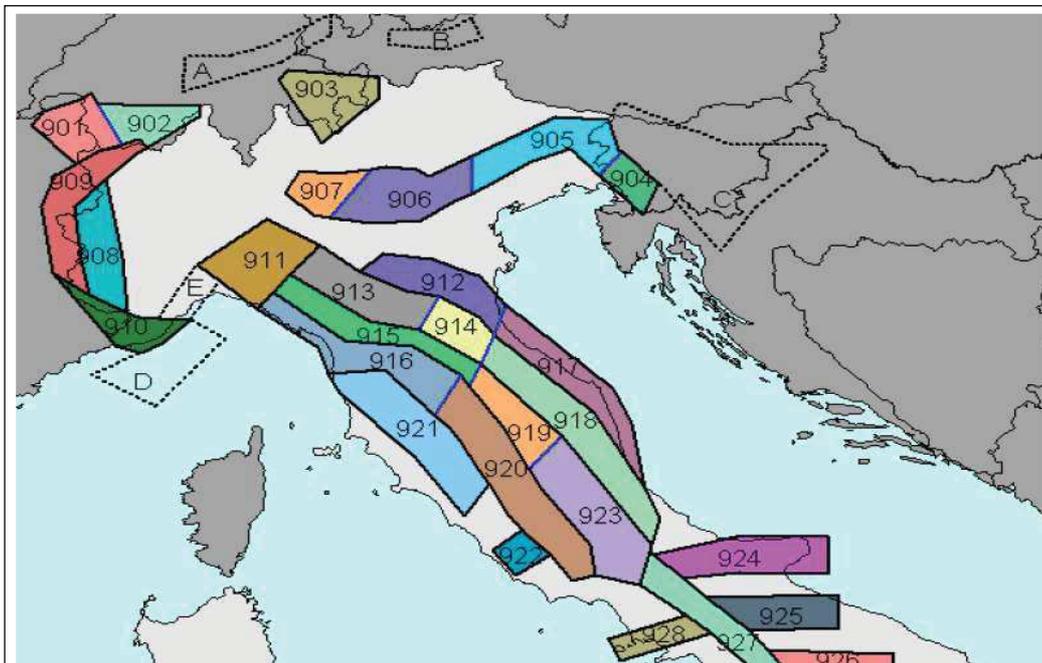


Per determinare il carattere sismogenetico dell'area del comune di Motta Baluffi si è presa in considerazione la pubblicazione dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia nella quale è stato mappato il territorio nazionale in zone sismogenetiche: il territorio comunale si colloca a circa 50 Km a sud-ovest della zona sismogenetica 906 (Garda Veronese) e a circa 20 Km a nord-est della zona sismogenetica 913 (Appennino Emiliano Romagnolo).

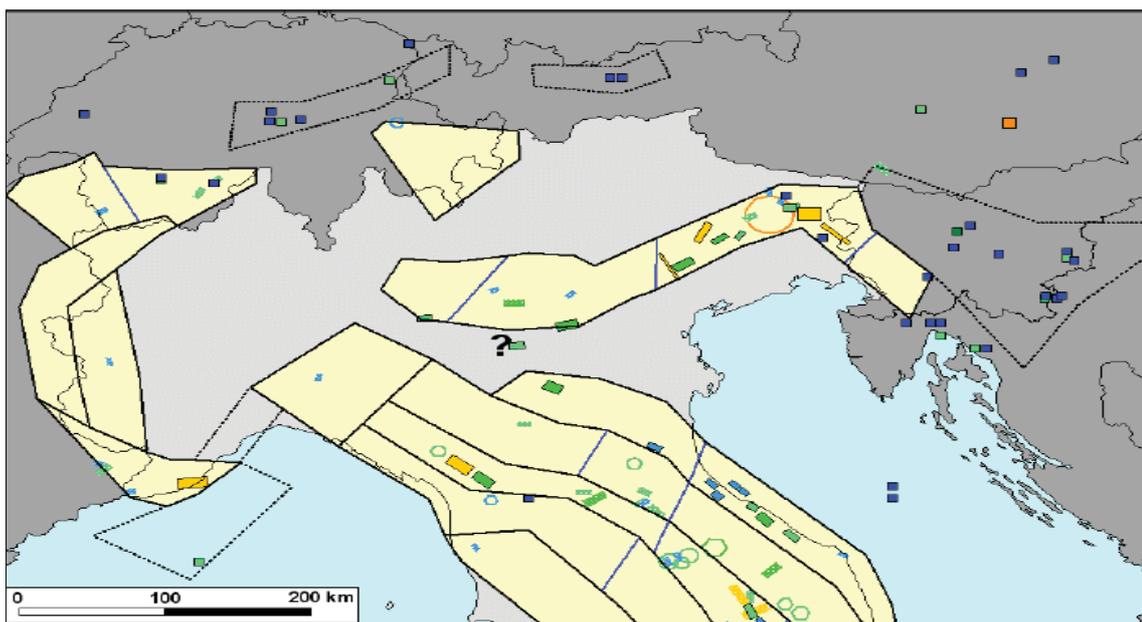
Il sito in progetto è ubicato a ovest dalla zona 912, nella zona sismogenetica viene individuato un regime tettonico debolmente compressivo in atto. La zona è compresa all'interno di strutture compressive (prevalentemente thrust) responsabili della sismicità, allineate lungo la costa o a breve distanza da essa.

Zona Sismogenetica 912: rappresenta la porzione più esterna della fascia in compressione dell'Appennino Settentrionale caratterizzata dallo sprofondamento passivo della litosfera adriatica (placca tettonica "Adria") sotto il sistema di catena nell'Arco Appenninico Settentrionale (placca tettonica "Northern Apenninic Arc") con cinematismi attesi di sovrascorrimenti e faglie trascorrenti aventi assi SW-NE; i terremoti storici hanno raggiunto valori pari a $M = 5,9$; le zone ipocentrali si verificano generalmente a profondità comprese tra 6 e 8 Km con profondità efficace di 7 km; nella Zona Sismogenetica 912 è previsto, sulla base dei meccanismi focali, valori di massima magnitudo pari a $M_{max} = 6,14$.

La zona sismogenetica 906 è legata alla convergenza tra la placca tettonica Adria e la placca tettonica Southern Alps con strutture a pieghe sud vergenti e faglie inverse associate (thrusts prevalenti). La zona sismogenetica 913 è legata allo sprofondamento passivo della litosfera adriatica (placca tettonica Adria) sotto il sistema di catene nell'Arco Appenninico Settentrionale con cinematismi attesi di sovrascorrimento e faglie trascorrenti aventi assi SW-NW.



Tale zona, come dalle rilevazioni dell'INGV, è caratterizzata da una magnitudo massima di 6.14 M_w .



Zonazione sismogenetica ZS9 in relazione alla distribuzione delle sorgenti sismo genetiche

8 ANALISI SISMICA

E' stata condotta una indagine geofisica di sismica per ricavare una caratterizzazione dinamica del sottosuolo nelle prime decine di metri con l'individuazione delle principali unità geofisiche presenti. L'indagine è consistita in uno stendimento di sismica posizionato, così come riportato nella foto sopra riportata, in modo da mantenere la linearità dello stendimento ed evitare il disturbo. La lunghezza dello stendimento è di 45,5 metri (il massimo consentito).

Lungo lo stendimento sono stati posizionati 12 geofoni monocomponente verticali, del tipo elettromagnetico a bobina mobile con frequenza propria di 10 Hz, in grado di tradurre in segnale elettrico la velocità con cui il suolo si sposta al passaggio delle onde sismiche prodotte da una sorgente energizzante costituita da una massa battente verticale. Si è ripetuto lo stendimento utilizzando dei geofoni orizzontali con frequenza di 10 Hz, posizionati longitudinalmente allo stendimento e generando una sollecitazione sismica verticale, per la misura della velocità della componente longitudinale delle onde di Rayleigh R.

La distanza tra i geofoni è stata fissata in 3,5 m. Si è utilizzato un punto di energizzazione posto all'estremità, a 7 m di distanza dal primo geofono.

8.1 METODOLOGIA MASW

Nelle prospezioni sismiche per le quali si utilizzano le onde di tipo P, la maggior parte dell'energia sismica totale generata si propaga come onde superficiali di tipo Rayleigh.

Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente in frequenza di queste onde è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) e quindi da una diversa lunghezza d'onda. Questa proprietà si chiama *dispersione*. Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di volume (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (**Vs**), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di **Rayleigh** è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali.

Per ottenere un profilo verticale di velocità **Vs** bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.

La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a rifrazione. MASW può essere efficace anche con solo dodici canali di registrazione collegati a geofoni verticali a bassa frequenza (4.5 Hz).

Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde **S** (**Vs**) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

- acquisizione dei dati sperimentali;
- estrazione della curva di dispersione;
- inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs (profilo 1-D), che descrive la variazione di Vs con la profondità.

Una mappa bidimensionale (mappa 2-D) può essere costruita accostando e sovrapponendo più profili 1-D consecutivi.

PROGETTO D'INDAGINE

Il sondaggio sismico di tipo MASW è stato eseguito utilizzando un sismografo digitale, in grado di registrare i segnali provenienti da geofoni a componente verticale e orizzontali e di permettere, grazie ad un software di elaborazione interno, un rapido controllo della qualità della registrazione, consentendo un processing preliminare dei dati in situ.

Le impostazioni dei parametri di acquisizione dello strumento, scelti in funzione del tipo di indagine eseguito, della lunghezza dello stendimento, del grado di risoluzione ricercato, delle condizioni ambientali rispetto alle fonti di rumore e tenendo conto della relativa uniformità delle successioni sedimentarie presenti nelle zone indagate, sono riportate in tabella 3.

TIPO DI INDAGINE	INTERVALLO DI CAMPIONAMENTO	NUMERO DI CAMPIONI	DURATA DI REGISTRAZIONE
MASW	250 μ s	4096	1024 ms

Tabella 3 - Parametri di acquisizione del profilo sismico di tipo MASW.

Una massa del peso di 8 kg, battente su una piastra metallica, fissata al terreno in posizione verticale, è stata utilizzata come dispositivo in grado di generare onde sismiche.

Per l'elaborazione dei dati non è stata necessaria una correzione topografica dei dati.

L'elaborazione e l'interpretazione dei dati sismici di tipo MASW è stata eseguita con l'ausilio del software winMASW, che consente di analizzare dati sismici (common-shot gathers) acquisiti in campagna in modo tale da poter ricavare il profilo verticale della VS (velocità delle onde di taglio).

Tale risultato viene ottenuto tramite inversione delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh, determinate tramite la tecnica MASW.

La procedura si sviluppa in due operazioni svolte in successione:

- 1) determinazione dello spettro di velocità (sul quale l'utente deve identificare la curva di dispersione);
- 2) inversione della curva di dispersione (precedentemente individuata) attraverso l'utilizzo di algoritmi genetici (detti anche evolutivi).

I comuni metodi lineari forniscono, infatti, soluzioni che dipendono pesantemente dal modello iniziale di partenza che l'utente deve necessariamente fornire. Per la natura del problema (inversione delle curve di dispersione), la grande quantità di minimi locali porta necessariamente ad attrarre il modello iniziale verso un minimo locale che può essere significativamente diverso da quello reale (o globale). In altre parole, i metodi lineari richiedono che il modello di partenza sia già di per sé vicinissimo alla soluzione reale. In caso contrario il rischio è quello di fornire soluzioni erranee.

Gli algoritmi evolutivi (come altri analoghi) offrono invece un'esplorazione molto più ampia delle possibili soluzioni. A differenza dei metodi lineari non è necessario fornire alcun modello di partenza. E' invece necessario definire uno "spazio di ricerca" (search space) all'interno del quale vengono valutate diverse possibili soluzioni. Quella finale viene, infine, proposta con una stima della sua attendibilità (deviazioni standard), ottenuta grazie all'utilizzo di tecniche statistiche. Il principale punto di forza di WinMASW è quindi proprio quello di fornire risultati molto più robusti rispetto a quelli possibili con altre metodologie, arricchiti anche da una stima dell'attendibilità. Tali caratteristiche vengono ottenute a prezzo di uno sforzo computazionale piuttosto intensivo che si riflette in tempi macchina più lunghi rispetto quelli comunemente necessari coi metodi di inversione lineare (che però rischiano di fornire risultati piuttosto imprecisi). Tali tempi di calcolo dipendono dai parametri scelti dall'utente per l'inversione dei dati.

INTERPRETAZIONE DEL PROFILO SISMICO DI TIPO MASW

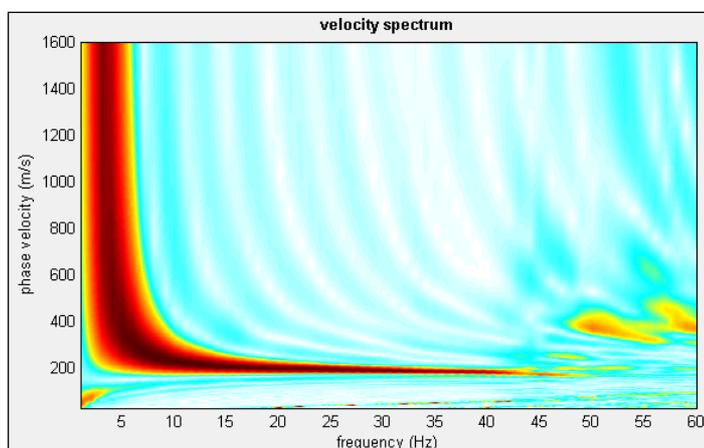
Per l'esecuzione del profilo sismico di tipo MASW, sono state eseguite due energizzazioni verticali agli estremi dello stendimento, per ottimizzare e vincolare il processo di inversione dei dati.

Grazie alle conoscenze geologiche dell'area in esame, si è stabilito di utilizzare, per l'interpretazione dei dati acquisiti, una modellistica a 3 strati. La curva di dispersione relativa al sondaggio sismico eseguito è mostrata in figura 6.

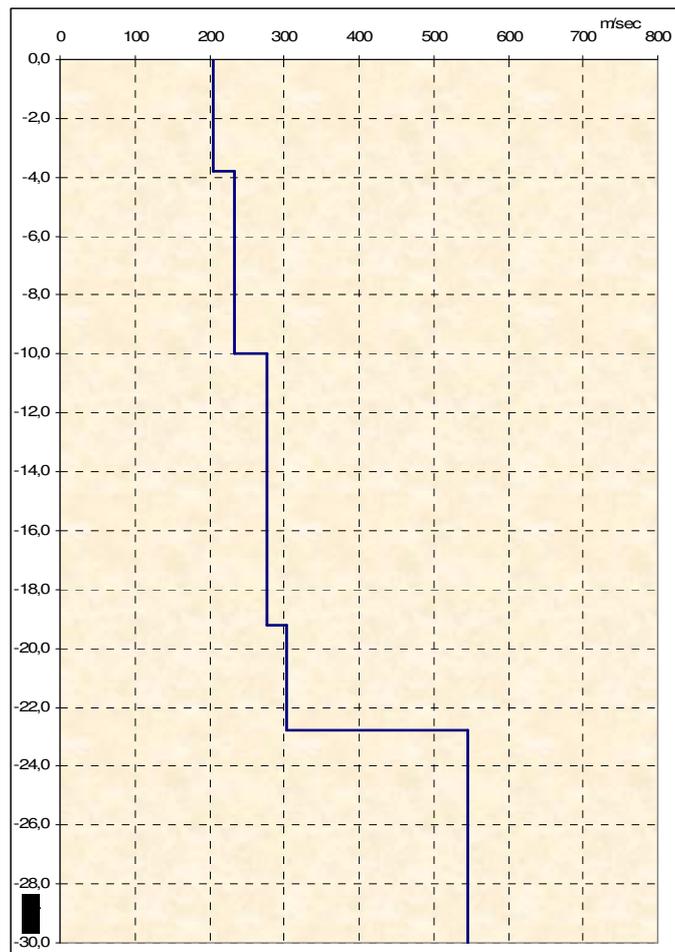
Solo il modo fondamentale della curva è stato analizzato per la determinazione del parametro Vs30. L'analisi del profilo sismico MASW eseguito ha permesso la definizione di un modello 1D di velocità delle onde di taglio, localizzabile nel baricentro dello stendimento.

ANALISI SISMICA

Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/sec)
-3,8	3,8	204
-10,0	6,2	233
-19,2	9,2	276
-22,8	3,6	304
-30,0	7,2	546



-diagramma della curva di dispersione-



- diagramma velocità V_s /profondità -

Il valore V_{seq} è 290 m/sec.

Secondo normativa **la categoria di appartenenza del litotipo equivalente è la C:**

La tabella mostra che la categoria di suolo di fondazione riferita al piano campagna e per fondazioni con profondità fino a 30 metri è di tipo **C**: 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.

La profondità di penetrazione dell'indagine MASW è determinata dalla relazione tra velocità e frequenze rappresentate nella curva di dispersione. Strati più profondi influenzano, infatti, frequenze inferiori (lunghezze d'onda maggiori) e di conseguenza sarà la frequenza più bassa a determinare la massima profondità di penetrazione (da cui l'importanza di generare un

segnale con una sufficiente quantità di energia anche alle frequenze più basse). Questo valore è determinato attraverso l'approssimazione $\lambda/2.5$ ed è, quindi, chiaramente solo indicativo.

Infatti, è bene precisare che, a causa della variazione dei parametri fisico - meccanici (porosità, contenuto d'acqua, grado di fatturazione, ecc.), non sempre gli spessori sismostratigrafici coincidono con gli spessori litologici.

8.2 CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO

Nell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274 del 20 marzo 2003 e nel D.M. 14-09-2005 vengono inserite specifiche norme per il progetto delle fondazioni e delle opere di sostegno. Per poter definire l'azione sismica di progetto le norme stabiliscono 5 categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione (le profondità sono riferite al piano di posa delle fondazioni) identificabili sulla base delle caratteristiche stratigrafiche e delle proprietà geotecniche rilevate nei primi 30 metri e definite da parametri indicati nell'EUROCODICE 8:

A-Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

B -Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

C - 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.

D -Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina 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 compresi tra 100 m/s 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 30m.

La determinazione delle azioni sismico, che costituisce una delle principali novità del testo normativo non avviene più per mezzo del concetto di Zone Sismiche, poiché all'interno dello stesso comune possono esserci effetti sismici diversi, in dipendenza di vari complessi

fenomeni geo-sismo-tettonici ed a prescindere dagli effetti dovuti al tipo di sottosuolo. Inoltre, anche la conoscenza di eventi sismici remoti consente di stimare meglio le accelerazioni di picco al suolo.

Vengono forniti i valori dei parametri di pericolosità sismica necessari alla progettazione, per ciascun dei nodi della griglia e per 9 valori del periodo di ritorno, ovvero una volta definite le coordinate del sito in base all'allegato A si calcolano i parametri spettrali, relativi ad un particolare tempo di ritorno, con la media pesata dei 4 punti della griglia di accelerazione che comprendono il sito in esame per ognuno dei quattro stati limite previsti dalla norma.

La stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido ($V_{seq} > 800$ m/s), passa quindi dal vecchio criterio Zona dipendente, ove l'accelerazione di base a_g derivava dalla zona sismica di appartenenza del Comune in cui ricadeva il sito, senza considerare l'incremento dovuto ad effetti locali dei terreni di cui tiene conto invece con l'approccio sito dipendente.

Ai fini della normativa, l'azione sismica è quindi caratterizzata da 3 componenti trasversali, due orizzontali e una verticale, da considerarsi tra di loro indipendenti che possono essere descritte mediante accelerazione massima attesa in superficie, accelerazione massima e relativo spettro di risposta atteso in superficie, accelerogrammi.

Lo spettro di risposta elastica in accelerazione è espresso da una forma spettrale riferita a uno smorzamento del 5%, moltiplicata per l'accelerazione orizzontale massima a_g su sito di riferimento rigido orizzontale; lo spettro di risposta elastico orizzontale è definito in base al valore dell'accelerazione a_g relativa alla zona indagata, moltiplicando per un coefficiente S che tiene conto della categoria di suolo di fondazione e delle condizioni topografiche.

Per un determinato sito il moto sismico è quindi definito da uno spettro di risposta elastico la cui espressione dipende dall'accelerazione orizzontale massima al sito (a_g), dal massimo valore di accelerazione dello spettro orizzontale (F_0) e dal periodo d'inizio del tratto a velocità costante dello spettro di accelerazione orizzontale (T_c), tramite opportuni coefficienti numerici che variano a seconda delle coordinate del sito, della vita di riferimento della struttura e della probabilità di superamento della vita di riferimento.

9 APPROFONDIMENTO DI 1° E 2° LIVELLO

Dalla verifica della tavola della pericolosità sismica località, il sito in esame viene perimetrato in zona Z4a, per quanto riguarda la situazione litostratigrafica e morfologica si rende necessario l'approfondimento di primo e secondo livello di approfondimento sismico, così come contemplato dalla normativa in vigore.

Le verifiche di seguito riportate tengono conto dei risultati di analisi provenienti da diverse aree disciplinari:

- ❖ geofisica (individuazione mediante prospezioni dei profili di velocità delle onde sismiche nei terreni - masw);
- ❖ geologia e geomorfologia (caratterizzazione dell'assetto stratigrafico e strutturale, delle litologie e della geomorfologia dei siti e della parametrizzazione geotecnica).

Lo studio geologico di supporto al P.G.T. presenta una prima tavola della pericolosità sismica (in scala 1:10.00), nella quale vengono riportate le diverse situazioni tipo, sulla base di quanto indicato nella Tabella 1 dell'Allegato 5.

Tale carta indica quindi le zone caratterizzate da diversi scenari in grado di determinare possibili effetti sismici locali.

Lo studio geologico realizzato a supporto del P.G.T. ha individuato per il sito in esame il seguente scenario:

- Z4a: zona di pianura con presenza di depositi fluvio-glaciali granulari e/o coesivi.

Z2a	Zone con terreni di fondazione saturi particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.)	Cedimenti
Z2b	Zone con 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	

La carta di pericolosità sismica locale rappresenta il riferimento per l'applicazione dei successivi livelli di approfondimento, in base a quanto stabilito dalla D.G.R. n. 9/2616 del 30/11/2011.

SCENARIO Z4a

L'area d'intervento ricade in Z4a (1° e 2° livello di approfondimento, verifica alla liquefazione), la falda è stata intercettata a 1.10 m da p.c., mentre gli effetti attesi sono legati all'amplificazioni litologiche.

9.1 APPROFONDIMENTO SISMICO DI II° LIVELLO

Dalla mappa della P.S.L. alla scala 1:10.000 si nota che il sito in esame è situato in una zona di possibile amplificazione sismica Z4a. Tale contesto indica il rischio che un evento sismico ed i relativi scuotimenti producano effetti di amplificazione litologica in grado di alterare i risultati di un sisma sulla base di quanto previsto dalla normativa nazionale.

Per questo contesto la normativa prevede il secondo livello di analisi degli effetti sismici di sito. Il secondo livello si applica a tutti gli scenari suscettibili di amplificazioni sismiche (morfologiche e litologiche) e riguarda le costruzioni il cui uso prevede normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali; industrie con attività non pericolose, reti viarie e ferroviarie la cui interruzione non provoca situazioni di emergenza.

La procedura consiste in un approccio di tipo semiquantitativo e fornisce la stima quantitativa della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di amplificazione (F_a); gli studi sono condotti con metodi quantitativi semplificati, validi per la valutazione delle amplificazioni litologiche e morfologiche e sono utilizzati per zonare l'area di studio in funzione del valore di F_a .

Gli effetti di amplificazione per lo scenario sismico Z4a è di natura litologica, pertanto per la valutazione del fattore di amplificazione (F_a) si ricorre alle schede relative all'allegato 5 di cui alla D.G.R. n° 9/2616 del 2011.

Così come previsto dalla normativa il valore di F_a viene riferito agli intervalli di periodo tra 0.1 – 0.5s e 0.5 – 1.5s: i due intervalli di periodo nei quali è stato calcolato il valore di F_a

vengono scelti in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie; in particolare l'intervallo tra 0.1 – 0.5s si riferisce a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide, mentre l'intervallo tra 0.5 – 1.5s si riferisce a strutture più alte e più flessibili.

Viene valutato il periodo del sito T con la seguente formula:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\frac{\sum_{i=1}^n v_{s_i} \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}} = 0.35$$

dove:

h_i = spessore dello strato i-esimo;

V_s = velocità dello strato i-esimo.

La procedura semplificata richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

- litologia prevalente dei materiali presenti nel sito;
- stratigrafia del sito;
- andamento delle V_s con la profondità fino a valori pari o superiori a 800 m/s;
- spessore e velocità di ciascun strato;
- sezioni geologiche, conseguente modello geofisico - geotecnico ed identificazione dei punti rappresentativi sui quali effettuare l'analisi.

ANALISI DEGLI EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE LITOLOGICA.

Sulla base di intervalli indicativi di alcuni parametri geotecnici ricavati dalla prova CPT, è stata individuata una litologia prevalentemente sabbiosa per la quale è stata scelta la relativa scheda di valutazione di riferimento (scheda Litologia sabbioso – curva 2 - verde).

STIMA DEGLI EFFETTI LITOLOGICI

secondo le procedure dell'All. 5- D.g.r. 9/2616 del 60/11/2011

SCHEDA LITOLOGIA SABBIOSA

Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m./sec)
-3,8	3,8	204
-10	6,2	233
-19,2	9,2	276
-22,8	3,6	304
-30	7,2	546

Periodo del sito
T= 0,35

PRIMO STRATO
Vs 204

Curva caratteristica
n° 2

VERIFICA
Valori Fa del sito
0,1 < T < 0,5 **1,69**

Comune di Motta Baluffi

Valori Fa di soglia
terreni di tipo

B	1,4
C	1,7
D	2,1
E	1,9

Località **Solarolo Monastero**

Litologia tipo suola C

LITOLOGIA SABBIOSA

CAMPO DI VALIDITA'

CAMPO DI NON VALIDITA'

$V_s = 171 e^{0.0077 Z}$

Correlazione T - Fa 0.1-0.5 s

Individuata la scheda di riferimento si è provveduto alla verifica della validità in base all'andamento dei valori di Vs con la profondità. All'interno della scheda di valutazione è stato scelto il valore di Fa nell'intervallo 0,1-0,5 s in base al valore del periodo proprio del sito T. La curva individuata è la n° 2 (verde), mentre il T = 0.35, il valore di Fa determinato è pari a 1.69 e indica il grado di protezione raggiunto al sito dall'applicazione della normativa sismica vigente.

La valutazione del grado di protezione è stata effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando il valore di Fa ottenuto dalle schede di valutazione con un parametro di analogo significato calcolato per il comune di Motta Baluffi, per la classe C e per l'intervallo di periodo 0,1-0,5 s. Per il comune di Motta Baluffi il valore soglia Fa per il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta sufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito che risulta pari a 1,7.

$$1.69 (Fas) < 1.7 (Fac)$$

Si può quindi affermare che il valore di Fa è inferiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa.

10 RELAZIONE SULLE INDAGINI GEOGNOSTICHE

Ai fini della ricostruzione della stratigrafia e delle caratteristiche geotecniche dell'area in oggetto, si è proceduto all'esecuzione di n.2 prove penetrometriche statiche (CPT) spinte alla profondità massima di 12.00 m dall'attuale piano campagna e una prova MASW.

Nella figura si riporta l'ubicazione delle indagini eseguite su planimetria di progetto e fotoaerea.



10.1 PROFILO STRATIGRAFICO

INTERPRETAZIONE DEI DATI

La prova è stata spinta ad una profondità massima di 10.00 m da p.c., essa risulta correlabile con altre prove eseguite in aree prossime a quella in oggetto. I risultati della prova penetrometrica è sufficientemente rappresentativa della litostratigrafia presente in situ.

Per i primi 3.6 m si attraversa un orizzonte prevalentemente limoso il quale mostra un grado di addensamento medio. A partire da circa 3.6 m dal p.c. attuale, la prova indica la presenza di unità geotecniche prevalentemente sabbiose correlabili a depositi alluvionali con un addensamento buono, tale deposito mostra buone caratteristiche geotecniche.

LITOSTRATIGRAFIA	
A	0.00 - 0.40 m terreno vegetale
B	0.40 - 3.60 m deposito limo e limo-argilloso
C	3.60 - 12.00 m deposito sabbioso

La falda è stata intercettata a 3.60 m da p.c..

11 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI IN CONDIZIONI SISMICHE

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

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

Un terreno incoerente saturo, in assenza di sollecitazioni sismiche è soggetto soltanto alla pressione litostatica, dovuta al peso dei sedimenti sovrastanti (in campo libero e con superficie piana).

Durante una sollecitazione sismica vengono indotte nel terreno delle sollecitazioni cicliche di taglio, dovute alla propagazione delle onde sismiche verso la superficie, mentre la pressione litostatica resta costante. Per tutta la durata della scossa ogni elemento di terreno è soggetto ad una serie di sforzi tangenziali che cambiano ripetutamente verso ed ampiezza.

Nel terreno si possono generare fenomeni di liquefazione se la scossa sismica produce un numero di cicli tale da far sì che la pressione interstiziale uguagli la pressione di confinamento. Nei depositi la pressione di confinamento aumenta con la profondità, mentre l'ampiezza dello sforzo di taglio indotto dal sisma diminuisce. La resistenza alla liquefazione quindi è maggiore con la profondità. Di conseguenza, maggiore è la durata di un terremoto

(maggiore numero di cicli), più alta è la possibilità che si arrivi alla liquefazione. Inoltre, maggiore è l'ampiezza della vibrazione e della deformazione indotta e minore è il numero di cicli necessari per giungere a tale condizione.

Il terreno può essere però soggetto a sforzi di taglio statici dovuti alla presenza di strutture in superficie o alla sua particolare posizione (per es. al di sotto di un versante). In questo caso l'instaurarsi del fenomeno della liquefazione dipende, oltre che dalle caratteristiche del sisma, anche dal rapporto che si stabilisce tra le tensioni di taglio indotte da quest'ultimo e quelle statiche preesistenti al terremoto.

La probabilità che un deposito raggiunga le condizioni per la liquefazione dipende anche dallo stato di addensamento, dalla composizione granulometrica, dalle condizioni di drenaggio, dalla storia delle sollecitazioni sismiche e dall'età del deposito stesso.

Tanto minore è il grado di addensamento del materiale (elevato indice dei vuoti e bassa densità relativa) tanto maggiore è la probabilità che, a parità di altre condizioni, un deposito raggiunga lo stato di liquefazione.

Anche la *distribuzione*, la *forma delle particelle* e il *grado di uniformità* influenzano notevolmente il fenomeno, per le implicazioni che questi fattori hanno sulla resistenza al taglio e per il modo di dissiparsi della pressione interstiziale in eccesso.

Per quanto riguarda la storia delle sollecitazioni sismiche, si può affermare che precedenti deformazioni moderate influiscano positivamente sulla resistenza del deposito, mentre una storia caratterizzata da alti livelli di deformazione (deposito già soggetto a liquefazione) ha effetti negativi sul potenziale di riliquefazione.

I depositi ghiaiosi-sabbiosi con più alto potenziale di liquefazione sono i più recenti. A parità di composizione e di altre condizioni lo stesso deposito, se più antico, avrà sviluppato legami intergranulari e cementazioni sempre più forti con il tempo. Inoltre, la struttura di un deposito antico sarà resa più stabile e omogenea per gli effetti delle vibrazioni indotte da precedenti terremoti di piccola entità.

La verifica della suscettibilità alla liquefazione è stata eseguita pertanto considerando i risultati, sino alla profondità di 15 m dal p.c. dalla prova masw.

La falda è stata intercettata a 3.60 m dal p.c..

Per quanto concerne la magnitudo, come riportato nei capitoli precedenti, si è fatto riferimento ad un valore massimo pari a 6.14. Per quel che concerne invece l'accelerazione massima attesa in superficie nell'area in esame, le analisi effettuate secondo quanto stabilito dalle NTC 2018 e dalla Circolare n°7 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 21 gennaio 2019, è di $a_{max} = 0.12$.

La verifica alla liquefazione è stata effettuata correlando la capacità di resistenza del terreno alla liquefazione CRR e la resistenza ciclica indotta dal sisma CSR (Seed & Idriss 1971). Dalle prove penetrometriche statiche si è valutato la resistenza alla liquefazione CRR; il potenziale di liquefazione lo si è ottenuto eseguendo il calcolo del fattore di sicurezza FS_L , definito dal rapporto CRR/CSR.

$$CSR = 0.65 \times (a_{max})/(g) \times (\sigma_{vo}/\sigma_{vo'}) \times r_d \times 1/(MSF \times K_\sigma)$$

a_{max} = accelerazione sismica di picco al piano campagna;

g = accelerazione di gravità;

σ_{vo} = pressione verticale totale alla profondità z dal p.c.;

$\sigma_{vo'}$ = pressione verticale efficace alla profondità z dal p.c.;

r_d = fattore di riduzione delle tensioni alla profondità interessata;

MFS = coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma;

K_σ = coefficiente correttivo funzione delle tensioni efficaci alla profondità interessata.

Il fattore di sicurezza alla liquefazione FS_L è definito dal rapporto CRR/CSR:

$$FS_L = CRR \cdot \frac{MSF}{CSR}$$

Il rapporto di tensione ciclica CSR, ad una determinata profondità, può essere valutato attraverso l'espressione di Seed e Idriss, 1971 riportata di seguito:

$$CSR = 0.65 \times a_{max}/g \times \sigma_{vo}/\sigma'_{vo} \times R_d$$

Dove:

a_{max} : accelerazione di picco al piano campagna del terremoto di progetto;

g : accelerazione di gravità;

σ_{vo} : tensione totale verticale alla profondità considerata;

σ'_{vo} : tensione efficace verticale alla profondità considerata;

R_d : coefficiente riduttivo dell'azione sismica per valutare la deformabilità del sottosuolo.

Per quel che concerne invece la valutazione del rapporto di resistenza ciclica CRR, la resistenza penetrometrica, q_c , ricavata dalla indagine penetrometrica statica CPT, deve essere ricondotta ad un valore normalizzato, q_{c1N} , attraverso la seguente espressione:

$$q_{c1N} = C_q \times q_{c/pa}$$

Dove a_p (pressione atmosferica pari a 100kPa) e c_q espressa nella stessa unità di misura.

Il coefficiente Q_c (fattore correttivo per tener conto dell'influenza della pressione verticale efficace).

In base al valore di IL ottenuto viene fuori la seguente tabella:

IL	rischio di liquefazione
0 < IL ≤ 2	basso
2 < IL ≤ 5	moderato
5 < IL ≤ 15	elevato

Nella verifica eseguita è stato ottenuto un valore di **IL = 1.9**, indice di un rischio di liquefazione basso e il fattore di sicurezza $F_s > 1$ considerando una magnitudo di riferimento e un'accelerazione sismica secondo il D.M. 17 gennaio 2018.

12 CONCLUSIONI

Su incarico della committenza è stato redatto il presente studio geologico – idrogeologico a supporto del progetto per la costruzioni di un capannone, in comune di Motta Baluffi (CR).

L'indagine ha permesso di definire le caratteristiche dei terreni mediante la caratterizzazione geologica.

I dati relativi alle classificazioni di seguito elencate fanno riferimento allo studio geologico idrogeologico e sismico del Piano di Governo Territoriale del Comune di Motta Baluffi:

- **Pericolosità sismica locale: Z4a**
- **Fattibilità geologica: classe 3**
- **Vincoli geologici-idrogeologici: nessuno**
- **Vulnerabilità idrogeologica: media-bassa.**

Al fine di definire le caratteristiche litostratigrafiche del sottosuolo è stata eseguita una prova penetrometrica di tipo statico spinta alla profondità di 10 m da p.c. e una prova MASW.

La prova MASW e l'analisi di secondo livello hanno permesso di attribuire **categoria C di sottosuolo. La verifica alla liquefazione ha evidenziato un indice basso (1.9).**

Durante i sondaggi è stata intercettata **la falda a 3.60 m da p.c..**

La superficie interessata al progetto non presenta fenomeni geomorfologici attivi.

Dal punto di vista sismico il Comune di Motta Baluffi, interessato dall'intervento in esame, ricade nella classificazione sismica dei comuni italiani in **Zona 3.**

Dalle risultanze delle indagini geotecniche ed idrogeologiche eseguite sul terreno in oggetto e sull'area ad esso circostante, all'interno di un volume significativo, riportate nella presente Relazione Geologica, si può concludere che il sito sia idoneo per il progetto indicato.

San Giorgio Bigarello, Dicembre 2021

IL TECNICO

Dott. Geol. Rosario Spagnolo