

REGIONE LOMBARDIA
PROVINCIA DI BRESCIA

COMUNE DI CASTEL MELLA

Progetto di insediamento di attività produttiva

*"In Variante al Piano di Governo del Territorio
secondo la procedura di cui al DPR 160/2010 e s.m.i. - SUAP"*

COMMITTENTE



Peli s.r.l.

Via Verdi, 102
25030 Torbole Casaglia (Brescia)
P.iva/C.f. 02331130985
info@peliportesezionali.it

COMPONENTE GEOLOGICA E INVARIANZA IDRAULICA

Allegato

GE 1- COMPONENTE GEOLOGICA

RELAZIONE

Conferenza di Servizi

Delibera Approvazione

Data

Gennaio 2020

Revisione

r.....del.....

CONSULENTI

PROGETTISTA COMPONENTE EDILIZIA

Arturo Mola

Via Cortivazzo, 1/C
25030 Castel Mella - BRESCIA
mail. studio.mola@alice.it

DIRETTORE ARTISTICO

Giuliano Venturelli

Via Leonardo Da Vinci, n° 9/A
25064 Gussago - BRESCIA
mail. giulianoventurelli.italy@gmail.com

PROGETTISTA COMPONENTE STRUTTURALE

Mario Piovanelli

Via Castello, n° 1
25038 Rovato - BRESCIA
mail. piovanelli@gmail.com

COMPONENTE URBANISTICA
VALUTAZIONE AMBIENTALE STRATEGICA

Alessandro Martinelli

Via Terzani 14
20035 Ospitaletto - BRESCIA
mail. alessandro@martinelli.bs.it

COMPONENTE AGRONOMICA, ECOLOGICA E
PROGETTO DELLE OPERE A VERDE

Eugenio Mortini

Via Tito Speri 14c
25030 Lograto - BRESCIA
mail. eugenio.mortini@virgilio.it

COMPONENTE GEOLOGICA
INVARIANZA IDRAULICA

Corrado Aletti

Via Ponticella 20
25020 Seniga - BRESCIA
mail. alettic@tin.it

COMPONENTE ACUSTICA

Luigi Cornacchia - LC Consulenze

Via Giordano 5/e
25016 Ghedi - BRESCIA
mail. luigi@lc-consulenze.it

COMPONENTE TRAFFICO

Paolo Mondolo -Beconsult s.r.l.

Via Mameli 19/d
25014 Castenedolo - BRESCIA
mail. beconsult@beconsult.it

REGIONE LOMBARDIA

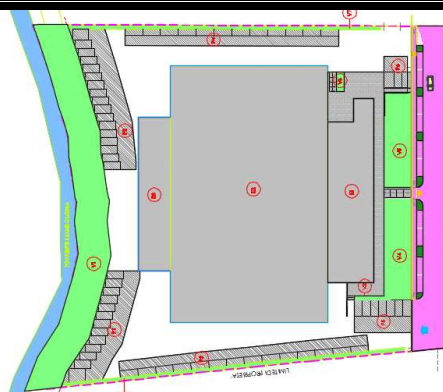
PROVINCIA DI BRESCIA

COMUNE DI CASTEL MELLA



RELAZIONE GEOLOGICA R1+R3

RELAZIONE GEOTECNICA R2



Elaborato

PROGETTO DI INSEDIAMENTO DI ATTIVITA' PRODUTTIVA

"In variante al Piano di Governo del Territorio secondo la
procedura di cui al DPR 160/2010 e s.m.i. – SUAP"

D.M. 17.01.2018 – DGR 2616/2011 – DGR X/5001 – L.R. 12/2005

Committente



PELI s.r.l.

Estensore



A. & P. sas

Il presente elaborato è confidenziale e ne è vietata la riproduzione o l'utilizzo da terzi non autorizzati

Informazioni documento

Operazione	Soggetto	Data
Redatto	A & P sas – Dr.ssa Gallo Samanta	04.11.2019
Approvato	A & P sas – Dr. Aletti Corrado	11.11.2019
File	relazione suap.docx	
Commessa	2019.10.299	

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	1 di 55
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

INDICE

1. Introduzione	4
2. Inquadramento geografico	6
3. Inquadramento geologico morfologico e idrogeologico	8
3.1. Litostratimetria dell'area	10
3.2. Idrogeologia e vulnerabilità naturale	12
4. Sismica	14
4.1. Indagine sismica	16
4.1.1. Tecnica di misurazione e strumentazione.....	16
4.1.2. Effetti di sito: risposta sismica locale	17
4.1.3. Profilo onde S e classificazione del sottosuolo da NTC	18
4.1.4. Vulnerabilità sismica dell'opera	19
4.1.5. Risultati dell'analisi	20
4.1.6. Linee Guida SESAME 2005	22
4.2. Analisi sismica di II livello.....	24
4.3. Parametri sismici	25
4.4. Stima della magnitudo di riferimento	27
4.5. Verifica liquefazione.....	29
5. Vincoli.....	33
6. SINTESI.....	35
7. Fattibilità	36
8. Geotecnica	39
8.1. Modello geotecnico.....	42
8.2. Analisi delle soluzioni fondali	44
8.3. Calcolo della capacità portante	45
8.3.1. Approccio 2 combinazione unica A1+M1+R3	46
8.3.2. Verifica allo slittamento	46

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	2 di 55
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

8.4. Calcolo dei cedimenti.....	47
9. Terre da scavo.....	49
10. Indicazioni riguardo l'invarianza	51
11. Conclusioni	53
12. Tabella riassuntiva parametri geologici	55

1. INTRODUZIONE

La presente relazione è stata redatta a corredo della richiesta di variante urbanistica per la trasformazione di un'area agricola in Comune di Castel Mella, in Provincia di Brescia, ai sensi della normativa vigente (L.R. 12/2005; D.G.R. 8/7374/08; D.M. 17/01/18) inerente la componente geologica nella pianificazione territoriale contenuta nella D.G.R. n. VIII/1566 del 22.12.2005. Questo documento amplierà la conoscenza del territorio oggetto di variante e delle differenti fonti di rischio in relazione alle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche, sismiche e geotecniche. In questa ottica sono state valutate le possibili fonti di rischio approfondendo ovviamente le tematiche più significative nel contesto del territorio indagato. In conformità alla normativa vigente, la metodologia adottata si fonda su tre successive fasi di lavoro:

sintesi bibliografica e compilativa, basata sulla raccolta della documentazione esistente per la predisposizione della cartografia di analisi;

approfondimento/integrazione che, a partire dalla documentazione di cui alla fase precedente, ha previsto l'effettuazione di rilievi di campagna;

valutazione e proposta finale, definita tramite le carte di sintesi e di fattibilità geologica, che propongono rispettivamente una zonizzazione del territorio in funzione dello stato di pericolosità e una classificazione d'uso dello stesso.

Allo scopo di determinare le caratteristiche geolitologiche e litotecniche dei terreni di fondazione in sito sono state effettuate n. 2 prove penetrometriche statiche con punta elettrica (CPTU), n. 1 prova penetrometrica dinamica superpesante (DPSH) e n. 8 sondaggi esplorativi. In sito è stata inoltre effettuata una verifica sismica mediante la tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Space Ratio).

La relazione è stata corredata dalla seguente cartografia:

GE1-TAV 1 - Carta litomorfologica (scala 1:5.000)

GE1-TAV 2 – Carta idrogeologica (scala 1:5.000)

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	4 di 55
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

GE1-TAV 3 – Carta della pericolosità sismica locale (scala 1:5.000)

GE1-TAV 4 – Carta della vulnerabilità naturale (scala 1:5.000)

GE1-TAV 5 – Carta dei vincoli e di sintesi (scala 1:5.000)

GE1-TAV 6 – Carta della fattibilità (scala 1:5.000)

GE1-TAV 7 – Ubicazione indagini (scala 1:1.000)

La relazione è completata dai seguenti allegati:

GE1-ALL 1 – Indagini geognostiche

GE1-ALL 2 – Dichiarazione sostitutiva

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	5 di 55
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area in esame è localizzata nel settore nord occidentale dell'abitato comunale di Castel Mella, lungo il margine W di Via Renolda, così come rappresentato in Figura 1.



Figura 1 – Ubicazione dell'area in studio

La variante interesserà un'area, attualmente destinata ad attività agricola, avente una superficie totale di circa 13.200 m² (Figura 2).



Figura 2 – Foto aerea dell'area oggetto di variante

La richiesta di variante urbanistica inerente quest'area è volta all'ampliamento dell'attività industriale della Ditta Committente e prevederà la costruzione di nuovi capannoni prefabbricati e di nuovi uffici come evidenziato in Figura 3.

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	6 di 55
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

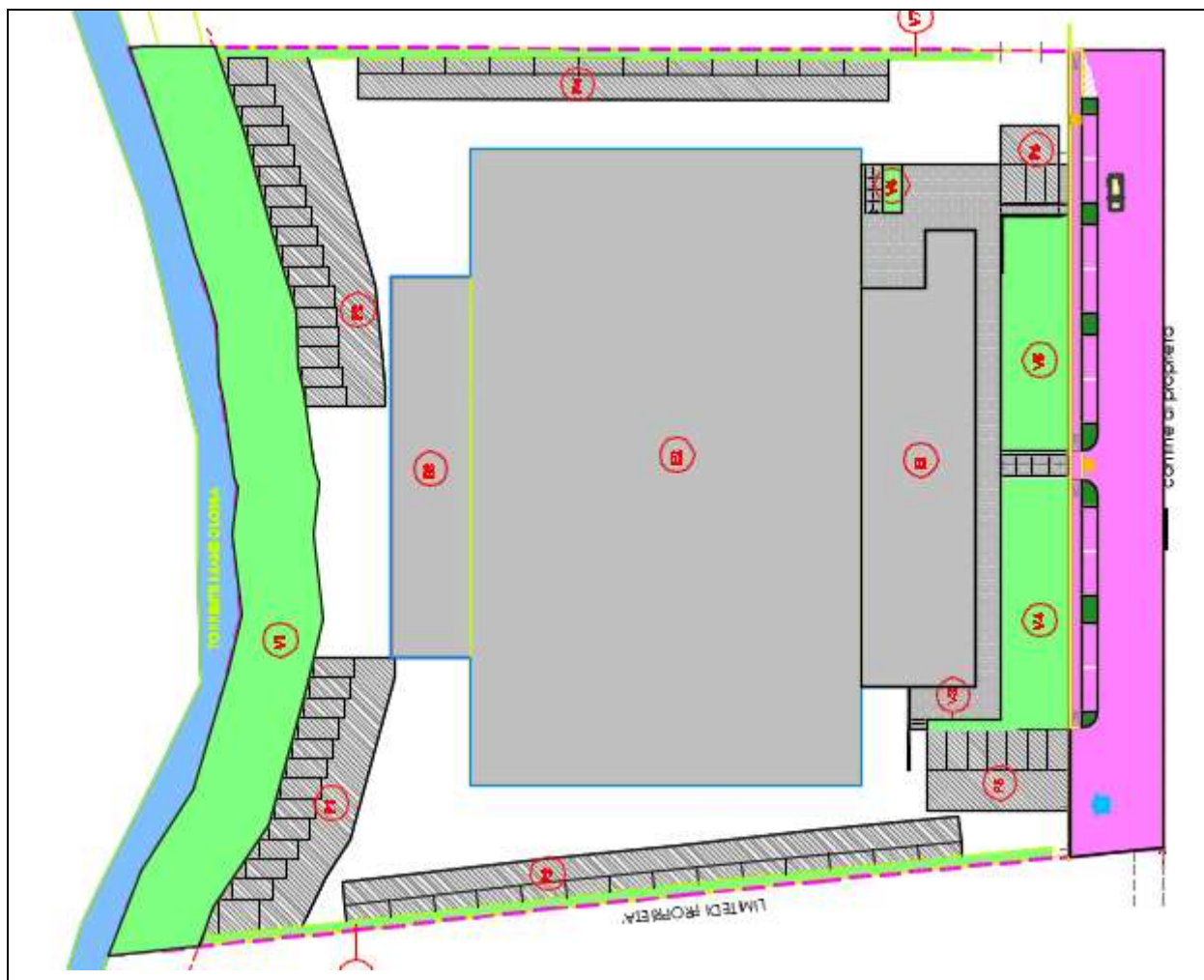


Figura 3 – Disegni di progetto

Le nuove strutture insisteranno sul Foglio 3, Mappali 579/585 dell'NCT del Comune di Castel Mella.

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	7 di 55
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO MORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

L'assetto geologico dell'area d'intervento è stato determinato durante il Quaternario continentale dagli intensi eventi deposizionali che hanno portato a colmamento il bacino Padano. In particolare, ci si riferisce al Pleistocene e all'Olocene, in cui la nota climatica dominante fu rappresentata da un ripetuto alternarsi di climi caldi e freddi, con una netta tendenza al progressivo raffreddamento, reso evidente con l'avvento delle glaciazioni. I depositi di quest'area sono legati alle dinamiche caratteristiche dell'ambiente fluvioglaciale e fluviale riferibili come età al Wurm (cfr. f_g^w - Figura 4), e costituenti il "**livello fondamentale della pianura**" (S. Tagliavini e F. Petrucci – Carta Geologica d'Italia Foglio "Brescia"). La fase fluviale würmiana ha originato l'ultimo esteso colmamento della pianura nel Pleistocene. La successiva fase erosiva, iniziata nell'Olocene, è responsabile della zona ribassata delimitata da scarpate entro cui oggi scorrono i principali fiumi padani, tra cui anche il F. Mella, nelle quali si rinvergono le alluvioni post glaciali antiche (a^1) e le recenti ed attuali (a^2).



Legenda:

- a^1 Alluvioni post glaciali antiche
- f_g^w Alluvioni Fluvioglaciali e fluviali Wurm

Figura 4 – Stralcio della Carta Geologica d'Italia foglio Brescia

La geologia profonda (sedimenti pre-quaternari), le cui strutture non condizionano le forme superficiali, è caratterizzata da un'ampia monoclinale che immerge verso Sud, con pendenza decrescente all'aumentare della profondità. La diminuzione della pendenza della monoclinale è localmente favorita dall'intersezione di sedimenti pliocenici, che risultano aver smussato le irregolarità dovute all'antecedente tettonica alpina. L'attuale assetto del territorio è

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	8 di 55
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

correlato ai processi legati all'azione delle acque superficiali prevalentemente incanalate ovvero all'azione di erosione, deposito e trasporto dei corsi d'acqua, variamente influenzati dalle oscillazioni climatiche e dalla tettonica. Dal punto di vista litologico, in superficie dominano le ghiaie poco gradate accompagnate da sabbie in subordine e talora da frazioni fini limose e limoso sabbiose presenti in percentuali variabili soprattutto in superficie (Figura 5). Morfologicamente l'area risulta sub pianeggiante, posta alla quota indicativa di circa 113.50 m.s.m., con cadente in direzione SSE. La porzione più settentrionale del sito risulta tuttavia rilevata di circa 80/90 cm a causa della presenza di materiale di riporto. L'idrografia al contorno è rappresentata dal Fiume Mella, il quale scorre a circa 1.20 chilometri in direzione E rispetto al sito in esame e dalla rete irrigua e scolante articolata seguendo un percorso corrispondente alle necessità di colo e irrigazione. Il corso d'acqua più prossimo al sito in esame risulta essere il Vaso Mandolossa, il quale scorre entro un'incisione di circa 2.50/3.00 m, in direzione NS lungo il margine W del sito. Dal punto di vista idraulico è importante sottolineare che l'area in esame risulta interna alla fascia fluviale C definite dal Piano PAI, cioè quelle aree inondate durante periodi di piena catastrofica con tempi di ritorno pari a 500 anni (Figura 6), e risulta inoltre interna alle zone allagabili definite dal PGRA 2015 della Regione Lombardia. Lo scenario che si configura è quello di allagamento per esondazione del F. Mella con frequenza rara (Figura 7). Viste l'attuale assetto geoclimatico non sono stati rilevati forme o processi geomorfologici attivi.



Figura 5 – Carta della Litologia superficiale (blu=ghiaie azzurro=ghiaie/sabbie arancione=sabbie)

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	9 di 55
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				



Figura 6 – Fasce fluviali del PAI della RL



Figura 7 – Direttiva alluvioni 2007/60/CE – Revisione 2015

3.1. Litostratimetria dell'area

La litostratimetria dell'area è stata desunta da studi effettuati nella zona, ed in particolare dalle interpretazioni delle prove penetrometriche e dalle evidenze dei sondaggi esplorativi svolti in campo durante la campagna geognostica dell'Ottobre 2019. L'assetto stratigrafico si configura come rappresentato in Figura 8, conforme all'ambiente ed all'evoluzione deposizionale a cui è andata soggetta l'area, fortemente condizionata dalla dinamica fluvio-glaciale e fluviale legata ad ambienti ad alta energia, con significative variazioni d'alveo e ottima competenza, con trasporto di fondo prevalente. Dal punto di vista genetico i depositi si presentano uniformi sull'area in studio seppure con differenze locali legate alla granulometria e al grado di addensamento. Nell'area in esame sono state effettuate n. 2 prove penetrometriche statiche con punta elettrica (CPTU), n. 1 prova penetrometrica dinamica superpesante (DPSH) e n. 8 sondaggi esplorativi che hanno permesso di indagare i terreni di fondazione sino alla profondità massima di circa 8.70 m da p.c..

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	10 di 55
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

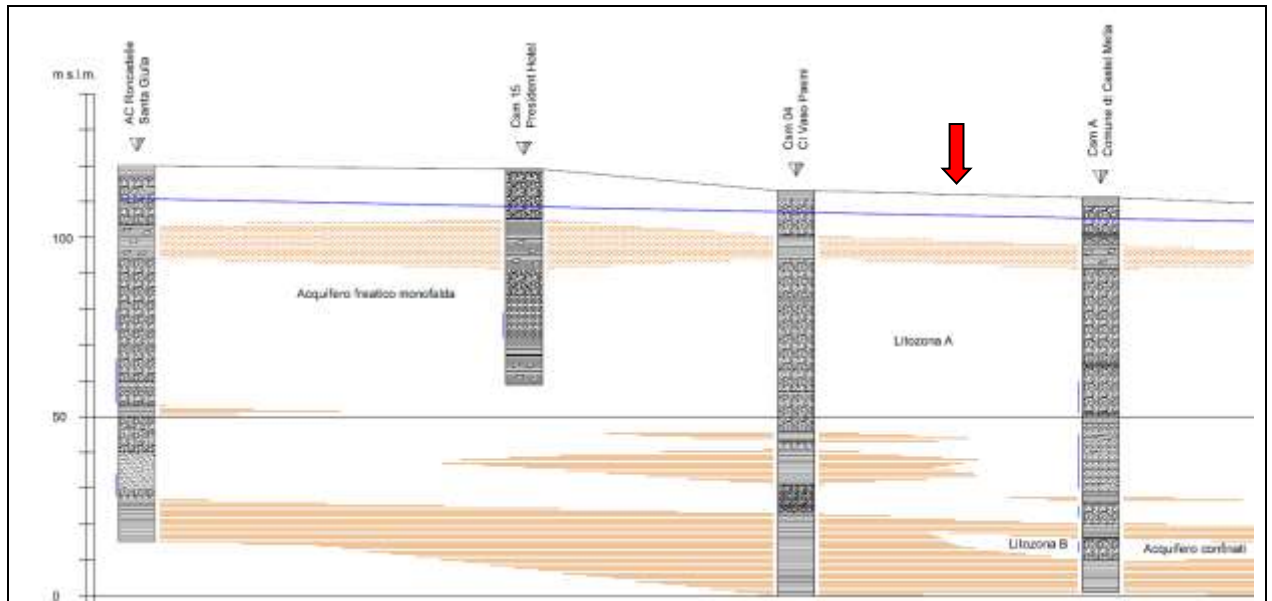


Figura 8 – Sezione stratigrafica AA' (da PGT)

Le prove effettuate hanno evidenziato una situazione piuttosto omogenea. Va evidenziata la presenza di materiali di riporto (massicciata per piazzali) presenti nella porzione più settentrionale dell'area in esame (Figura 9).



Figura 9 – Aree con riporti/massicciata (in blu)

In linea generale si assiste ad un passaggio dalla copertura costituita da suolo e/o riporto (dove presente) dello spessore variabile da circa 0.50 a 0.90 m, a materiali fini costituiti da depositi limosi e limoso sabbiosi che si sviluppano per circa 0.50/1.00 m, a depositi

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	11 di 55
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

prevalentemente sabbiosi costituiti da sabbie fini e sabbie medie talvolta associate a ghiaietto che si estendono in genere per 0.50/0.80 m, sino a depositi costituiti da ghiaie pulite spostandosi in profondità. Per i dettagli sui risultati delle prove si rimanda all'GE1-ALL 1. Durante le indagini dell'Ottobre 2019 la falda freatica è stata individuata alla profondità di circa 2.20 m da p.c. (misurata nella parte più depressa in prossimità del canale Mandolossa) e di approfondisce rapidamente allontanandosi dal corso d'acqua. I dati bibliografici reperiti presso la cartografia idrogeologica a corredo del PGT (Figura 10) mostrano come l'area in esame si collochi in corrispondenza dell'isopiezia 108, ad indicare una soggiacenza della falda freatica di circa 5/6 m.



Figura 10 – Carta idrogeologica da PGT

3.2. Idrogeologia e vulnerabilità naturale

Le informazioni stratigrafiche rilevate in campo e gli studi eseguiti nell'area e nel suo contorno, permettono di definire con sufficiente precisione le caratteristiche idrogeologiche sia generali che locali. I depositi che caratterizzano il territorio indagato sono caratterizzati prevalentemente da ghiaie e sabbie, localmente associate a materiale fine limoso e limoso sabbioso presente in percentuali variabili soprattutto in superficie e per tale motivo possono essere considerati depositi a permeabilità media. In considerazione della finalità dell'indagine è stato valutato il rischio di inquinamento delle acque sotterranee. Nell'area di interesse la falda possiede una soggiacenza ridotta, pertanto si ritiene di attribuire un grado di vulnerabilità

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	12 di 55
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

alto, valutato secondo la metodologia proposta dal GNDCI-CNR, così come rappresentato in
GE1-TAV 4.

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	13 di 55
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

4. SISMICA

La verifica del rischio sismico si è resa altresì necessaria in merito alla recente adozione, con Ordinanza del Presidente del Consiglio in data 20 marzo 2003, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n° 105 del 08 maggio 2003, dei criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e delle normative tecniche per le costruzioni in zona sismica, così come modificata dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio n° 3316. Secondo tale ordinanza, in prima applicazione, ovvero sino alle deliberazioni delle Regioni, le zone sismiche sono individuate sulla base del documento "Proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale" elaborato dal Gruppo di Lavoro costituito dal Servizio Sismico Nazionale, in base alla risoluzione approvata dalla Commissione Nazionale di Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi nella seduta del 23 aprile 1997. L'entrata in vigore di tale ordinanza è stata più volte prorogata sino al 23 ottobre 2005, quando con l'entrata in vigore delle "Norme tecniche per le costruzioni" il grado di sismicità è stato riconfermato, così come modificato dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio n° 3316 e n° 3431.

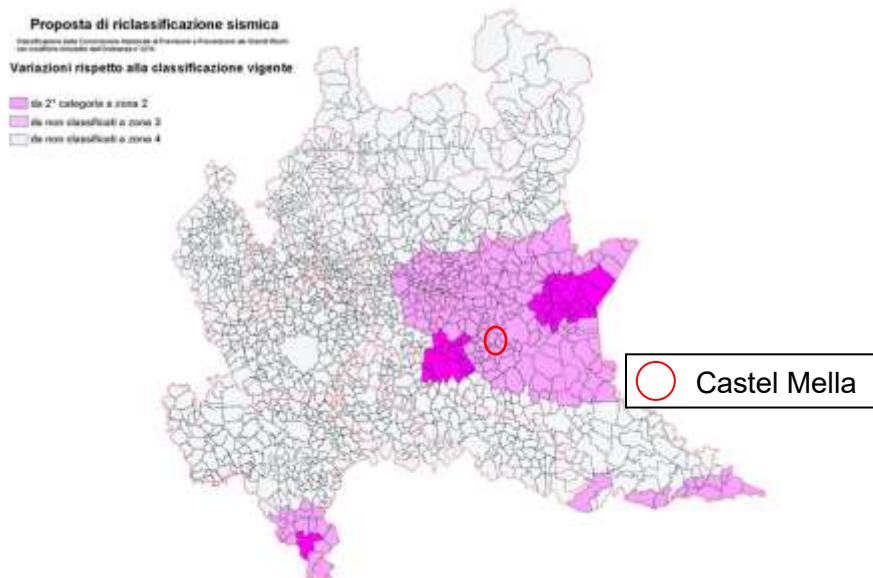


Figura 11 - Proposta di riclassificazione sismica 2003

La classificazione proposta ordina il territorio comunale di Castel Mella (codice ISTAT 03017042) come ricadente nella zona 3 (cfr. Figura 11) a cui corrisponde un'accelerazione

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	14 di 55
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

orizzontale compresa tra 0,05 e 0,15 a_g/g con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni. La recente riclassificazione della Regione Lombardia (Delibera Giunta Regionale 11 luglio 2014 n. X/2129) in vigore dal 11.10.2014 e quindi prorogata al 10.04.2016 ha confermato la classe 3 (Figura 12).

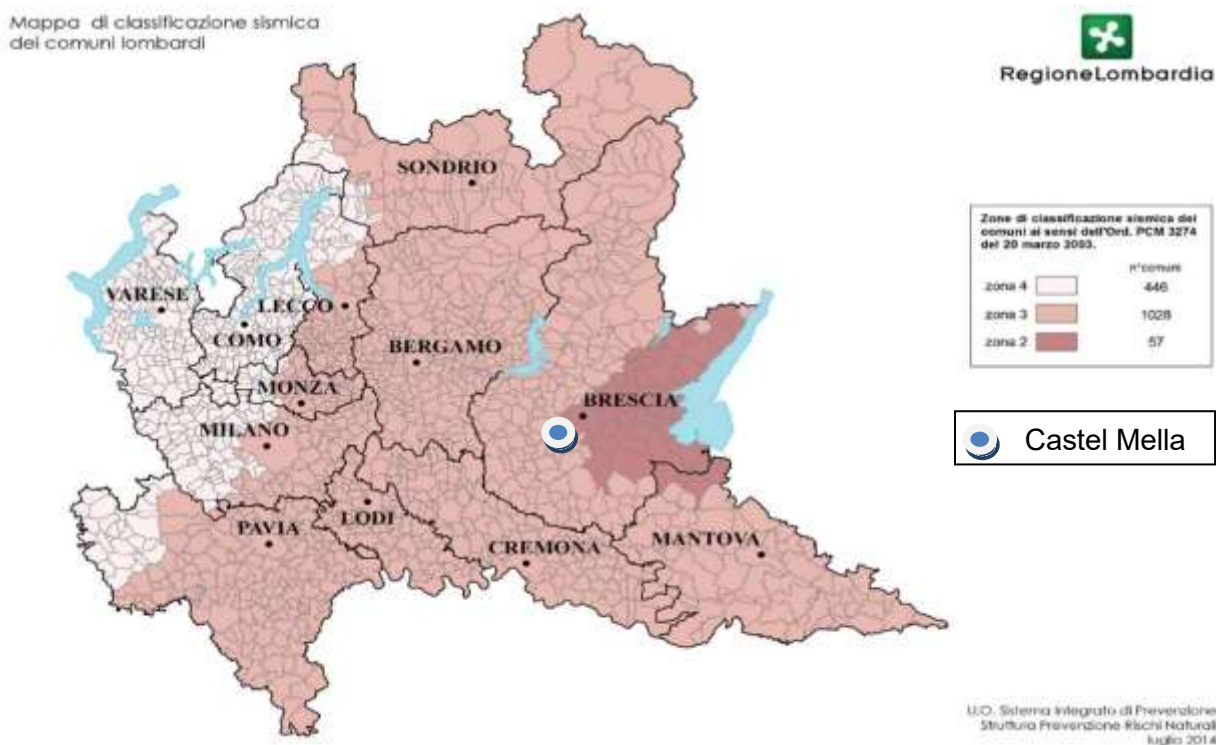


Figura 12 - Riclassificazione sismica 2014

In riferimento alla pericolosità sismica locale (studio di I livello da PGT), l'area ricade nella classe Z4a, ovvero *Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi* e quindi classe di pericolosità sismica H2 conseguente a possibili amplificazioni sismiche dovute alla litologia (GE1-TAV 3). Dagli approfondimenti eseguiti si escludono amplificazioni topografiche. Viene pertanto attribuita la classe T1. Di seguito è descritta l'indagine sismica di dettaglio effettuata in sito durante la campana geognostica dell'Ottobre 2019 mediante la tecnica HVSR. Sulla base dei dati acquisiti è stata inoltre effettuata la verifica di II livello per la stima dei fattori di amplificazione litologica obbligatoria

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	15 di 55
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

per lo scenario di pericolosità sismica locale Z4. I risultati delle indagini sono riportate nei capitoli seguenti.

4.1. Indagine sismica

4.1.1. Tecnica di misurazione e strumentazione

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) consiste nel misurare direttamente, sfruttando il rumore di fondo ambientale (microtremori), le frequenze di risonanza degli edifici e dei terreni costituenti il sottosuolo, allo scopo di stimare gli effetti di sito e la vulnerabilità sismica dell'opera. Per rumore ambientale di fondo s'intende l'insieme delle vibrazioni che si propagano nel terreno dovute sia a fenomeni naturali, moto ondoso, perturbazioni atmosferiche, ecc., sia all'azione antropica, traffico veicolare, macchinari, ecc.. Si è riconosciuto, a partire dagli anni settanta, che i microtremori tendono a eccitare le frequenze naturali di oscillazione dei terreni, permettendone l'individuazione. In pratica ciò che viene misurato sono, in certo intervallo di frequenze, solitamente 0.1-100 Hz, le velocità dei microtremori lungo il piano orizzontale e verticale (H e V) e il rapporto fra le due componenti (H/V). I valori di massimo locale (picchi positivi) di H/V ai quali corrispondono minimi locali di V individuano le frequenze di risonanza degli strati di terreno lungo la verticale di misura. Più elevato è il valore del rapporto H/V maggiore è il contrasto di impedenza sismica e quindi la variazione di velocità delle onde S fra livelli stratigrafici contigui. La tecnica HVSR richiede l'utilizzo di un tromografo digitale, cioè di un sismometro a stazione singola in grado di registrare i microtremori lungo le due direzioni orizzontali (X, Y) e lungo quella verticale (Z), in un ampio intervallo di frequenze (0.1-100 Hz) e per una durata sufficientemente lunga (mediamente 10-20 minuti). Il moto indotto nel terreno viene misurato in termini di velocità attraverso tre velocimetri, uno per ogni direzione di misura (X, Y e Z), secondo il passo di campionamento impostato dall'operatore. Le misure registrate vengono poi elaborate e restituite graficamente in forma di spettri H/V (rapporto H/V in funzione della frequenza, dove

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	16 di 55
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

H è la media delle misure lungo X e Y) e spettri V (componente verticale del moto in funzione della frequenza). Attraverso la tecnica HVSR è possibile:

- valutare in maniera quantitativa gli effetti di sito;
- ricavare il profilo delle velocità delle onde S con la profondità e calcolare il parametro V_{seq} ;
- analizzare la vulnerabilità sismica degli edifici, esistenti o in progetto.

4.1.2. Effetti di sito: risposta sismica locale

Le onde di taglio (S) sono le principali responsabili delle lesioni che subiscono gli edifici durante un evento sismico. Infatti, mentre le onde di compressione (P) agiscono sulle sovrastrutture in direzione prevalentemente verticale (moto sussultorio), le onde S sollecitano le stesse con forze di taglio lungo il piano orizzontale (moto ondulatorio), dove gli elementi strutturali sono più vulnerabili. Nelle analisi di pericolosità sismica è quindi fondamentale esaminare in dettaglio in che modo le onde S si propagano. E' infatti ampiamente dimostrato che questo tipo di oscillazione durante il percorso verso la superficie può subire un'azione di filtraggio che tende a ridistribuire l'energia associata al treno d'onda, concentrandola in determinate frequenze, corrispondenti alle frequenze naturali di vibrazione dei terreni attraversati. L'effetto finale è quello di amplificare le onde S che andranno a sollecitare l'opera. Questo fenomeno può essere dovuto sia a particolarità topografiche del sito (amplificazione topografica), come valli sepolte o zone di cresta o di versante in pendii naturali o artificiali, sia a variazioni brusche nelle caratteristiche meccaniche dei terreni attraversati lungo la verticale (amplificazione stratigrafica). Lermo e Chavez-Garcia (1993), basandosi sul lavoro di Nakamura (1989), suggeriscono che lo spettro H/V possa essere visto, a tutti gli effetti, come rappresentativo della funzione di trasferimento del moto sismico dal bedrock alla superficie. Secondo questi Autori quindi le ampiezze dei picchi stratigrafici nello spettro H/V possono essere interpretate direttamente come fattori di amplificazione del moto sismico, almeno per quanto riguarda la componente stratigrafica.

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	17 di 55
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

4.1.3. Profilo onde S e classificazione del sottosuolo da NTC

Il D.M. 14.01.2008 (riconfermato dal D.M. 17.01.2018) propone come riferimento di calcolo dell'amplificazione sismica locale, in particolare della componente stratigrafica, un metodo semplificato basato sulla stima del parametro V_{seq} . Per V_{seq} s'intende la media pesata delle velocità delle onde S negli strati di copertura fino alla H in cui giace il bedrock, caratterizzato da $V_s > 800$ m/s, calcolata secondo la relazione:

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

dove H viene posto uguale a 30 metri nel caso in cui il bedrock si trovi a una profondità superiore. Sulla base del valore calcolato di V_{seq} vengono identificate 5 classi, A, B, C, D ed E alle quali corrispondono un differente spettro di risposta elastico. Lo schema indicativo di riferimento per la determinazione della classe del sito è il seguente:

CATEGORIE DI SOTTOSUOLO			
Categoria sottosuolo	Descrizione	Spessore (m)	Vs (m/s)
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 3 m.	Qualsiasi	≥ 800
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} , compresi fra 360 m/s e 800 m/s ($N_{spt,30} > 50$ nei terreni a grana grossa o $c_{u30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).	> 30 m	≥ 360 ≤ 800
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi fra 180 e 360 m/s ($15 < N_{spt,30} < 50$ nei terreni a grana grossa, $70 < c_{u30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).	> 30 m	≥ 180 ≤ 360
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati oppure di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30} < 180$ m/s ($N_{spt,30} < 15$ nei terreni a grana grossa, $c_{u30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).	> 30 m	< 180
E	Terreni di tipo C o D per spessore non superiore a 30 m, giacenti su un substrato di riferimento ($V_{s30} > 800$ m/s).	Fino a 30 m	\approx C e D

Una valutazione del parametro V_{seq} può essere condotta attraverso l'inversione vincolata dello spettro H/V ricavata con il velocimetro triassiale. In pratica viene utilizzata la relazione che lega la frequenza di risonanza del terreno (f) alla velocità delle onde S nel terreno stesso (V_s):

$$f(Hz) = \frac{V_s}{4h}$$

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	18 di 55
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

dove h è la profondità della base dello strato. Nota la profondità di un singolo livello stratigrafico, solitamente il primo, è possibile procedere all'inversione dello spettro H/V, modellando la curva sintetica in modo da ottenere la sovrapposizione con quella misurata. Normalmente i picchi alle alte frequenze (>10 Hz) segnalano la presenza di passaggi stratigrafici molto superficiali, quelli alle basse frequenze (<1 Hz) variazioni stratigrafiche profonde. Poiché le inversioni di velocità, cioè il passaggio andando in profondità da livelli veloci a livelli meno veloci, non da origine a picchi nello spettro H/V, queste non possono essere rilevate direttamente. Un indizio della presenza di inversioni di velocità può essere fornito però, indirettamente, dall'andamento dello spettro H/V: ampi intervalli di frequenza in cui costantemente il rapporto H/V si mantiene minore di uno sono spesso associabili a variazioni negative delle velocità con la profondità. Si tenga presente infine che in realtà i microtremori sono costituiti in parte da onde di superficie e non solo quindi da onde di taglio, ma poiché le velocità dei due tipi di oscillazione sono confrontabili la procedura descritta può essere impiegata senza introdurre errori significativi.

4.1.4. Vulnerabilità sismica dell'opera

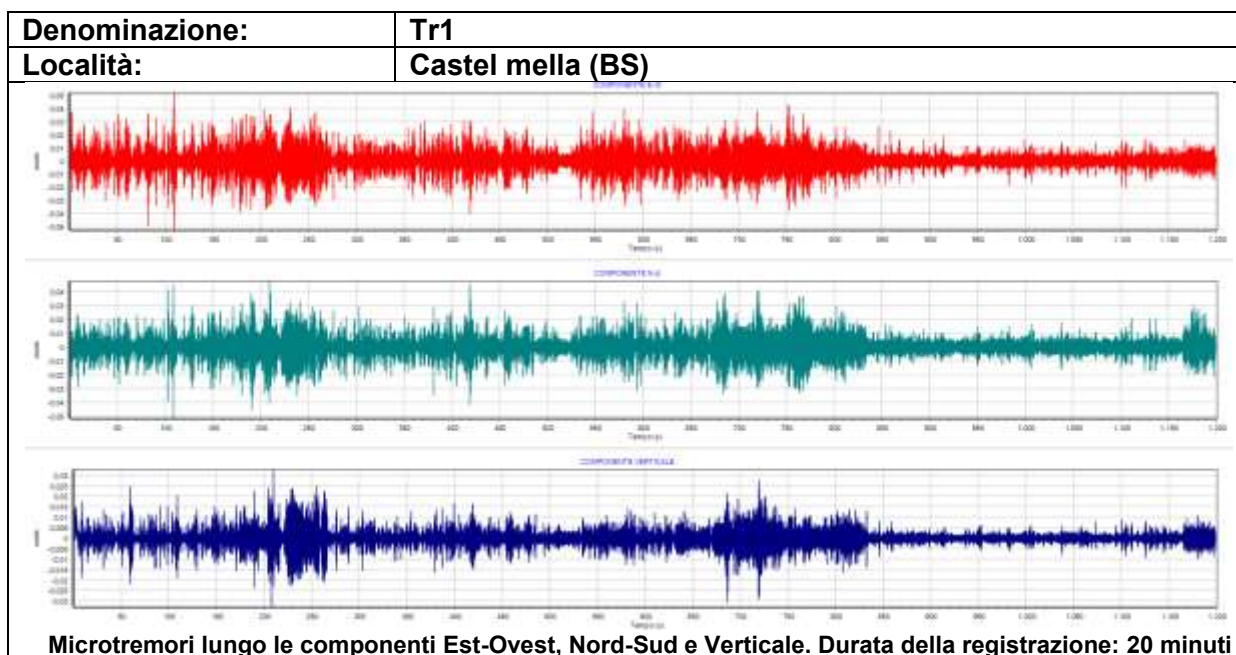
Per vulnerabilità sismica s'intende la suscettibilità di un'opera a subire lesioni in seguito alle sollecitazioni indotte dal sisma. E' stato dimostrato che la vulnerabilità agli eventi sismici di un edificio di edificazione relativamente recente è solo marginalmente collegabile alle modalità costruttive dello stesso. Molto più gravoso è l'effetto dell'amplificazione sismica locale, che tende a aumentare in maniera importante l'intensità delle forze sismiche agenti sulla struttura. In particolare se la frequenza di risonanza dell'edificio è confrontabile con quella dei terreni di fondazione si verifica il fenomeno della risonanza accoppiata che comporta un'amplificazione delle sollecitazioni sismiche sull'opera. Negli edifici esistenti il valore della frequenza fondamentale di risonanza può essere invece misurato direttamente con il velocimetro triassiale. In questo caso è necessario misurare il rapporto H_i/H_0 , dove H_0 è lo spettro della componente orizzontale, lungo X o Y, riferita al piano terra e H_i la stessa componente

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	19 di 55
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

misurata al piano i-esimo. Nella pratica spesso si eseguono solo due misure, ubicate lungo la stessa verticale, una al piano terra e una all'ultimo piano dell'edificio. Il picco positivo massimo dello spettro H_i/H_0 indica direttamente la frequenza di risonanza fondamentale della struttura.

4.1.5. Risultati dell'analisi

Si riportano di seguito in Figura 13 gli spettri H/V e V registrati nel sito in esame. Nello spettro H/V sono stati individuati i picchi positivi che corrispondono ad altrettanti minimi locali nello spettro V (Up-Down component in legenda), fatto questo che consente di riconoscere le frequenze associate ai picchi H/V come frequenze di risonanza del terreno.



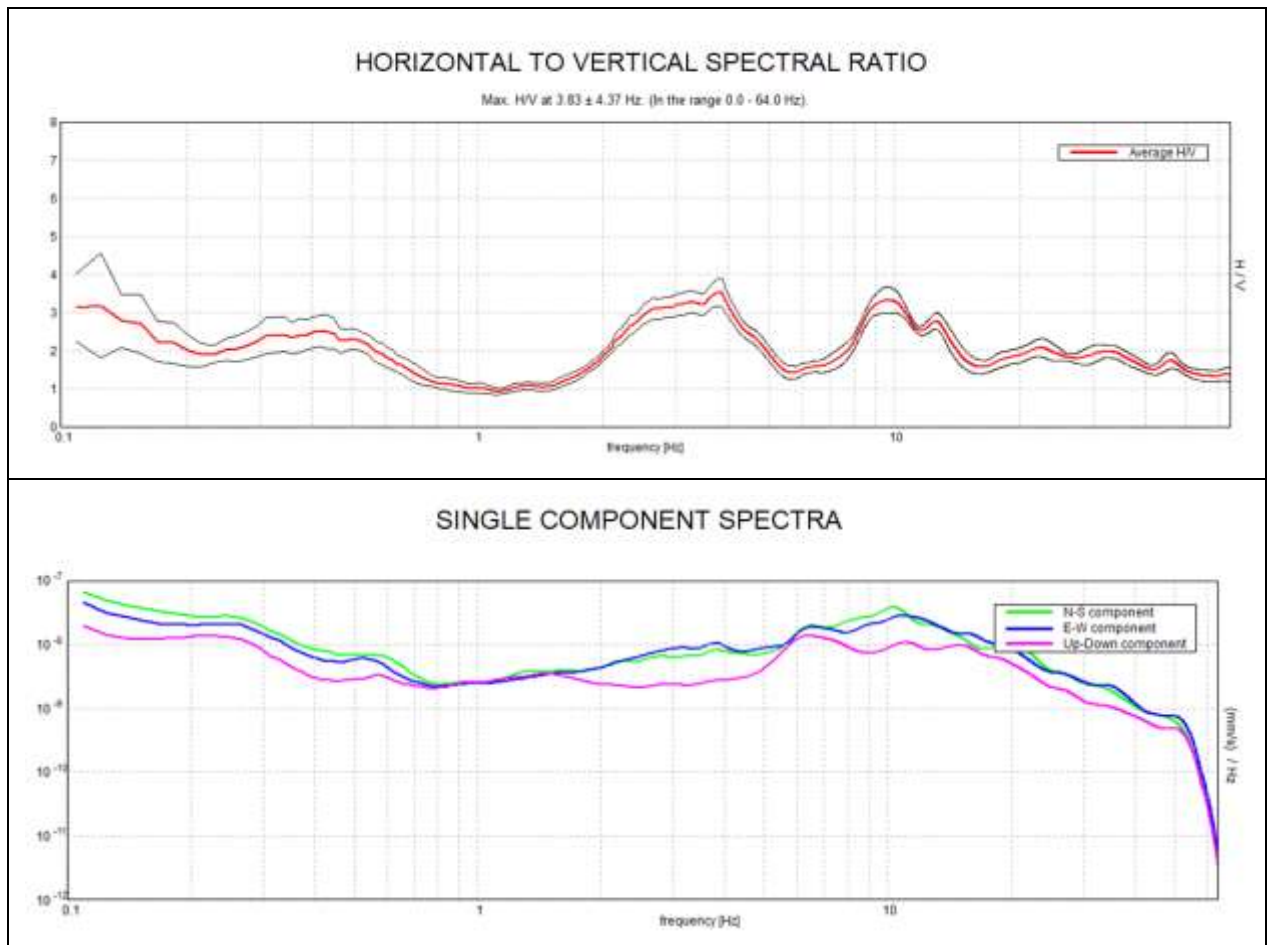


Figura 13 – Andamento degli spettri

La curva H/V sintetica è stata modellata in modo da sovrapporsi ai picchi stratigrafici misurati (Figura 14).

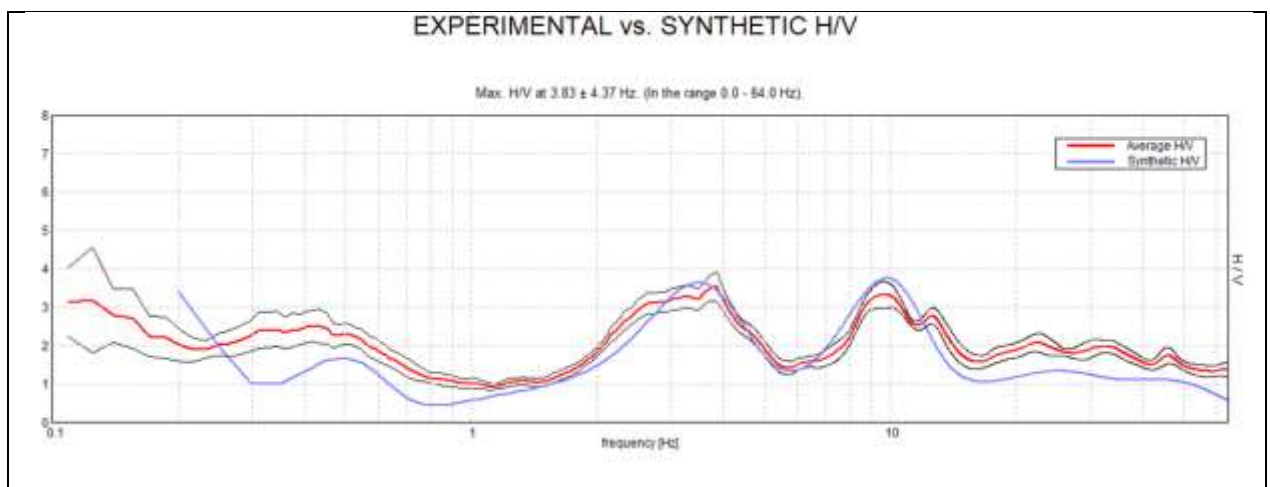


Figura 14 – Andamento della frequenza caratteristica

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	21 di 55
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

L'inversione ha consentito di ricavare il profilo delle velocità delle onde S in funzione della profondità. Si è ricavato il seguente profilo di velocità:

Profondità da (m) a (m)		Δz (m)	Vs (m/s)	Inversioni di velocità
0.00	0.50	0.50	91	-
0.50	2.00	1.50	163	-
2.00	5.60	3.60	230	-
5.60	9.60	4.00	335	-
9.60	32.60	23.00	423	-
32.60	372.60	340.00	696	-

Il valore di V_{seq} calcolato da piano campagna è risultato uguale a 335 m/s, che pone il sito nella classe di sottosuolo C secondo il D.M. 17.01.2018. Considerando fondazioni superficiali aventi incastro pari a 0.70 m da p.c. attuale il valore di V_{seq} risulta pari a 351 m/s, pertanto la categoria di sottosuolo risulta la medesima individuata mediante l'indagine HVSR. Considerando invece fondazioni a plinto posate a circa 1.80 m da p.c. attuale il valore di V_{seq} risulta pari a 369 m/s che pone il sito nella categoria di sottosuolo B. La frequenza fondamentale del sito, corrispondente al picco della curva H/V avente ampiezza maggiore, è risultata 3.83 Hz, pertanto il periodo fondamentale del sito T (corrispondente all'inverso della frequenza fondamentale del sito) è risultato pari a 0.26 s.

4.1.6. Linee Guida SESAME 2005

Negli ultimi anni un progetto europeo denominato SESAME si è occupato di stabilire delle linee guida per la corretta esecuzione delle misure di microtremore ambientale in stazione singola e array. Esso ha anche fornito dei criteri per valutare la bontà delle curve HVSR e la significatività dei picchi H/V trovati. Per l'affidabilità della curva HVSR devono essere positivi i primi tre parametri mentre per avere un chiaro e pulito segnale del picco massimo devono essere soddisfatti cinque dei sei criteri successivi (Figura 15).

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	22 di 55
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

Max. H/V at 3.83 ± 4.37 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).					
Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]					
$f_0 > 10 / L_w$	3.83 > 0.25	OK			
$N_c(f_0) > 200$	4593.8 > 200	OK			
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 368 times	OK			
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]					
Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.953 Hz	OK			
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	5.156 Hz	OK			
$A_0 > 2$	3.53 > 2	OK			
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	1.14269 < 0.05		NO		
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	4.37435 < 0.19141		NO		
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.3734 < 1.58	OK			
L_w	window length				
N_w	number of windows used in the analysis				
$N_c = L_w N_w f_0$	number of significant cycles				
f	current frequency				
f_0	H/V peak frequency				
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency				
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$				
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0				
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f				
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$				
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$				
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided				
$\sigma_{\log A_{H/V}}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve				
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$				
Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log A_{H/V}}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Figura 15 – Risultati delle linee guida SESAME 2005

4.2. Analisi sismica di II livello

Adottando il criterio previsto dalla Normativa regionale, sulla base dell'andamento del profilo della velocità delle onde S ricavato con l'indagine geofisica, si è selezionata la scheda litologica sabbiosa (Figura 16) di riferimento.

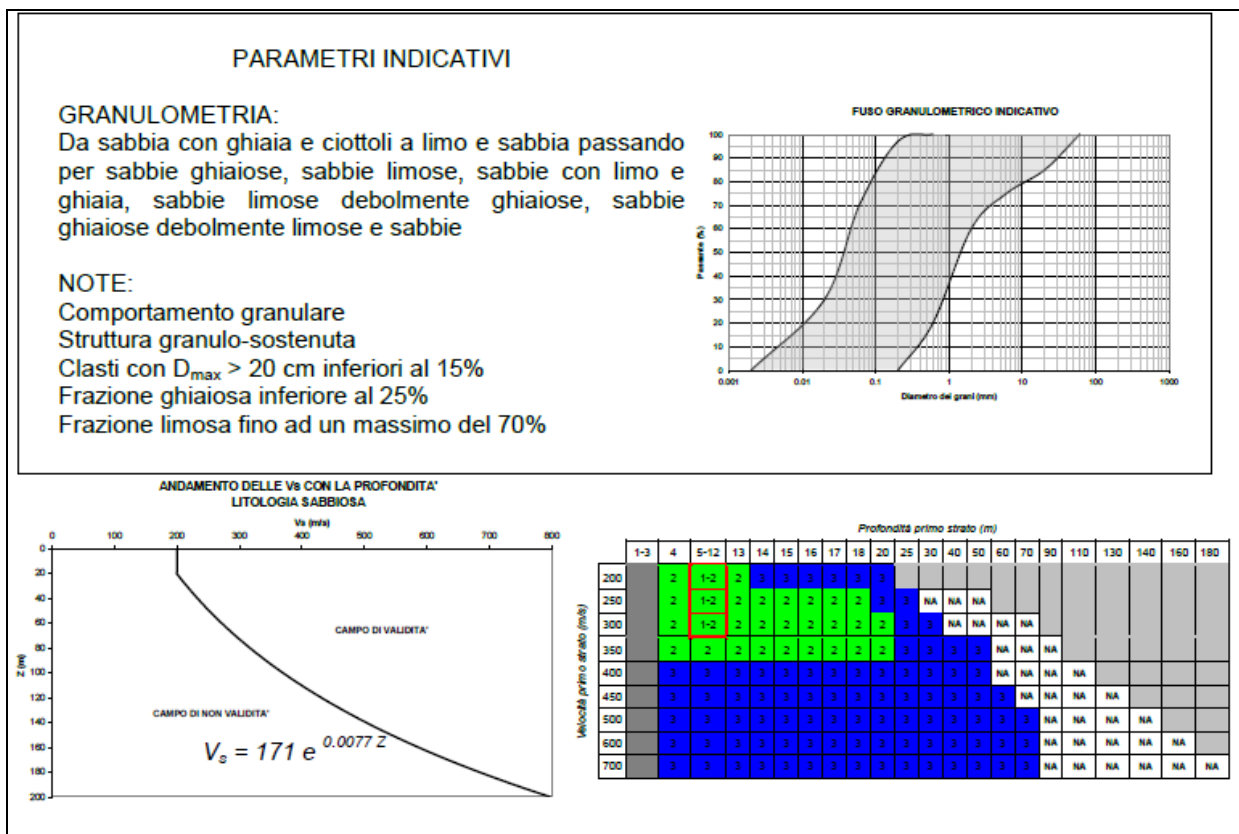


Figura 16 - Stima effetti litologici - Scheda sabbiosa

Il periodo di oscillazione fondamentale (inverso della frequenza fondamentale) della colonna lito-stratigrafica è stato misurato direttamente con l'indagine geofisica ed è risultato uguale a 0.26 s. Utilizzando questo dato si sono ricavati i seguenti valori di Fa:

	Fa calcolato	Soglia sottosuolo B	Soglia sottosuolo C
Fa 0.1-0.5 s	1.7	1.4	1.8
Fa 0.5-1.5 s	1.3	1.7	2.4

Questi valori sono stati confrontati con quelli di soglia previsti dalla Normativa regionale, nel caso di sottosuolo di tipo B per il Comune di Castel Mella (1.4 e 1.7 rispettivamente). In questo caso il valore di Fa calcolato per edifici con periodo di oscillazione compreso tra 0.1 e

0.5 s, come quelli nel caso in studio, risulta superiore a quello della soglia previsto dalla vigente normativa, pertanto sarà necessario effettuare analisi più approfondite (analisi di III livello) oppure declassare il sito alla categoria di sottosuolo superiore. Nel caso in esame si è optato per la declassazione del sito alla categoria di sottosuolo C. Infatti, confrontando i valori di Fa calcolati con quelli di soglia previsti dalla Normativa regionale nel caso di sottosuolo di tipo C per il Comune di Castel Mella (1.8 e 2.4 rispettivamente), in entrambe i casi i fattori calcolati risultano inferiori a quelli previsti dalla vigente normativa, pertanto si ritiene valida la classificazione sismica vigente e quindi si potrà utilizzare lo spettro proposto dalla stessa. La attendibilità dei dati è stata espressa con la tabella proposta sempre in allegato 5 e la categoria assegnata è quella evidenziata in rosso direttamente sulla tabella di seguito riportata.

Dati	Attendibilità	Tipologia
Litologici	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Alta	Da prove di laboratorio su campioni e da prove in sito
Stratigrafici (spessori)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da prove indirette (penetrometriche e/o geofisiche)
	Alta	Da indagini dirette (sondaggi a carotaggio continuo)
Geofisici (Vs)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da prove indirette e relazioni empiriche
	Alta	Da prove dirette (sismica in foro o sismica superficiale)

Figura 17 – Tabella dell'attendibilità dei dati (cfr. Allegato 5)

4.3. Parametri sismici

L'entrata in vigore del D.M. 14.01.2008 ha introdotto un approccio alla classificazione sismica di tipo *sitodipendente*, ovvero i parametri significativi della zona devono essere calcolati in base a misure dirette ed elaborati secondo metodi semplificati che tengano conto delle possibili amplificazioni locali dovute alla stratigrafia e alla topografia. Questo approccio è stato confermato dal D.M. 17.01.2018. Di seguito sono riportati i valori delle accelerazioni corrispondenti ai diversi stati limite attesi calcolati per l'area in studio. La classe dell'edificio utilizzata è la II. I parametri utilizzati sono leggibili direttamente nello schema di Figura 18. Con

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	25 di 55
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

referimento alle nuove costruzioni si rimanda alle indicazioni ed ai criteri di calcolo previsti dalla nuova normativa.

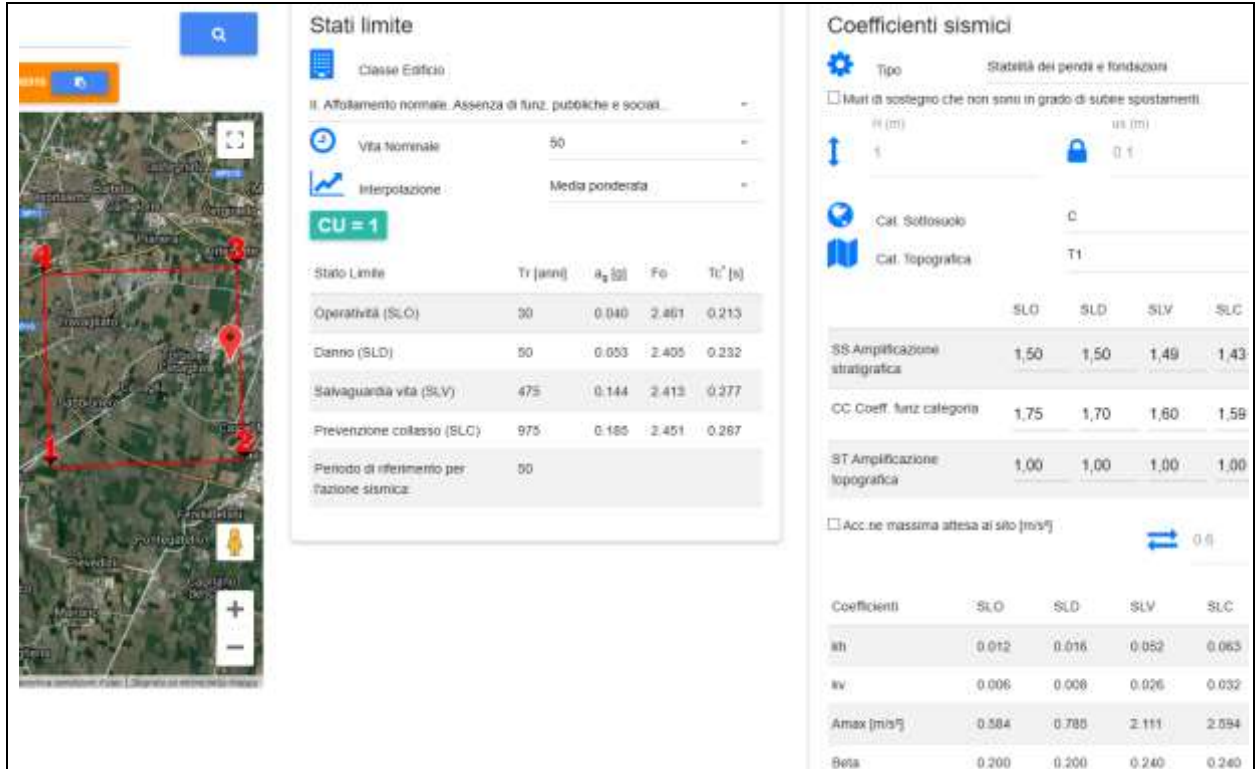


Figura 18 – Calcolo dei parametri sismici dell'area

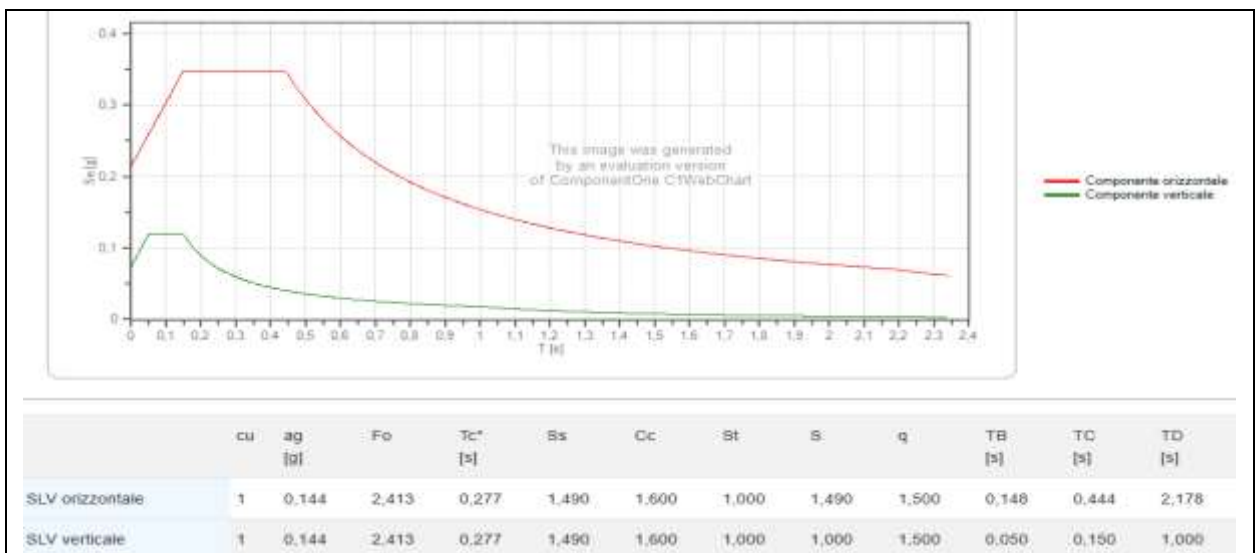


Figura 19 – Curve di progetto per lo stato limite SLV

4.4. Stima della magnitudo di riferimento

Nel settore di appartenenza del comunale di Castel Mella i lineamenti tettonici sono riconducibili a diversi sistemi regionali che generano complessi campi tensionali. Il territorio comunale, in particolare, si pone nella parte meridionale di un'area in sollevamento, con zone stabili, o in abbassamento durante il Pliocene inferiore e in forte sollevamento durante il Pliocene medio-superiore e il Quaternario. La sismicità di questa zona è legata quindi alla tettonica molto complessa del margine padano settentrionale. Le sorgenti sismogenetiche dovrebbero trovarsi ad una profondità compresa tra 5 e 15 km, in corrispondenza dello scollamento tra il basamento cristallino e la sovrastante copertura sedimentaria. L'analisi della sismicità, intesa come distribuzione spazio-temporale dei terremoti in una determinata area, costituisce il primo tassello per gli studi di valutazione della pericolosità sismica di base. Trattandosi di modelli probabilistici, infatti, le caratteristiche sismo-tettoniche e le modalità di rilascio dell'energia sismica pregressa consentono la messa a punto di modelli previsionali dell'attività sismica attraverso una quantificazione dei livelli di accelerazione attesi.

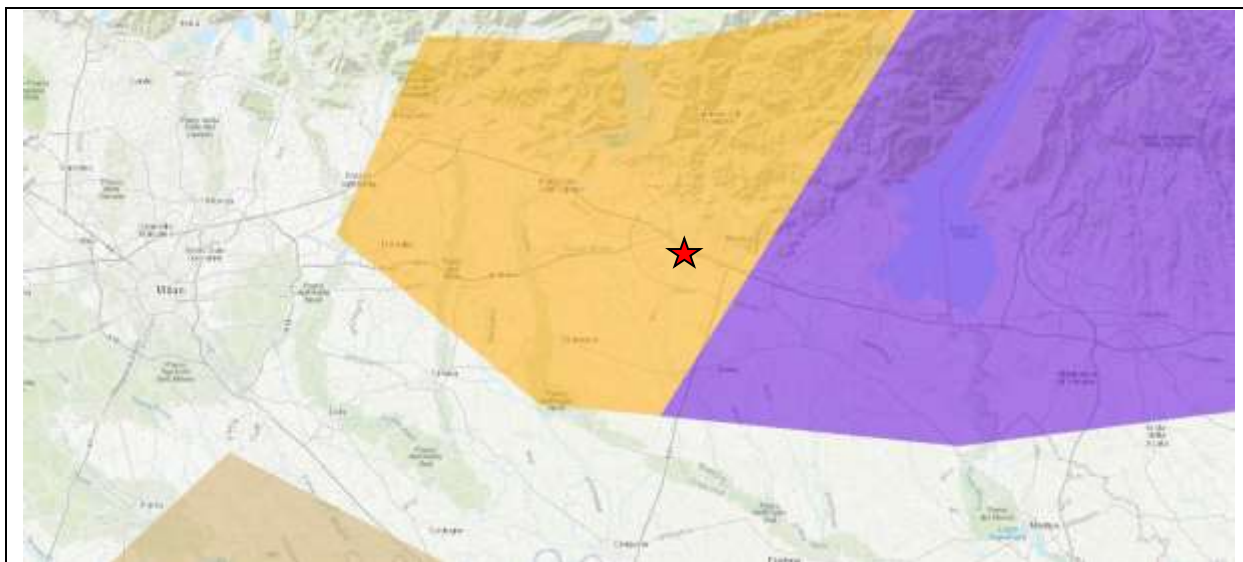


Figura 20 – Schema Zonizzazione Sismogenetica ZS9

L'attività sismica storica nel bresciano rappresenta la naturale continuazione di quella pliocenica e quaternaria e risulta correlata alla collocazione, delle aree di studio, tra zone

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	27 di 55
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

sismogenetiche riferibili, da una parte al fronte alpino e dall'altra al fronte appenninico, sepolti al di sotto della coltre fluvioglaciale-alluvionale della Pianura Padana. Storicamente, nella porzione del basso Sebino, si risente di effetti macroscopici in funzione della relativa vicinanza alle aree epicentrali dei forti terremoti storici, che colpiscono le provincie di Brescia e Verona. Alcuni sismi recenti, con le massime intensità storiche, si sono risentiti, per la relativa vicinanza con l'area sismogenetica del Reggiano-Ferrarese-Parmense e dell'edificio appenninico sepolto al di sotto delle coltri quaternarie dei depositi di pianura. L'area in esame secondo il modello sismotettonco riassunto nella zonazione sismogenetica ZS9 ricade nella zona sorgente 907 (Figura 20). In questo caso, ai fini della verifica alla liquefazione, si assume il valore della Magnitudo M_w pari a quello della zona, ovvero 6.14. E' possibile il calcolo anche la metodologia della disaggregazione della pericolosità sismica che somma i contributi dovuti alle singole coppie magnitudo-distanza dagli epicentri ricadenti nell'area di riferimento, allo scopo di ricavare l'evento sismico dominante. In questo modo si ottiene il terremoto di scenario, caratterizzato da una valore univoco della magnitudo, della distanza e del tempo di ritorno; ciò lo rende utilizzabile ai fini progettuali nelle verifiche agli stati limite. Il metodo si basa sulla mappa della pericolosità sismica messa a disposizione dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) attraverso il proprio portale web. Il sistema consente di visualizzare e interrogare mappe probabilistiche della pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa con diversi parametri dello scuotimento su una griglia regolare a passo 0.05° . Per ogni singolo nodo della griglia di riferimento è possibile richiedere il dettaglio in forma grafica e tabellare dell'analisi di disaggregazione (vale a dire il contributo delle possibili coppie di valori di magnitudo-distanza alla pericolosità del nodo) della relativa $a(g)$. Per il comune di Castel Mella il valore medio di riferimento propone una magnitudo pari a 4.82 ad una distanza di 9.78 km. Il valore non è però riferito alla magnitudo momento M_w , ma bensì alla magnitudo locale media. Per questo devono essere sommati i singoli contributi sino all'ottenimento di un valore superiore al 90%. Sommando i contributi da 0 a 30 km si

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	28 di 55
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

raggiunge un valore superiore al 90% per magnitudo fino a 6.0. I valori calcolati con entrambe i metodi convergono su un risultato confrontabile.

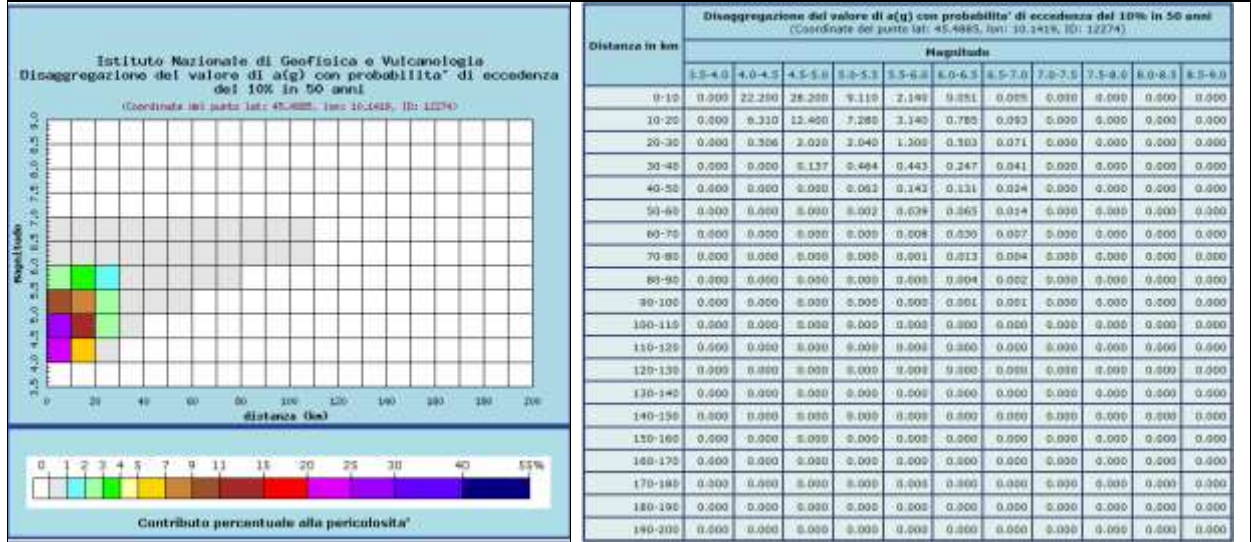


Figura 21 - Verifica Magnitudo

4.5. Verifica liquefazione

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

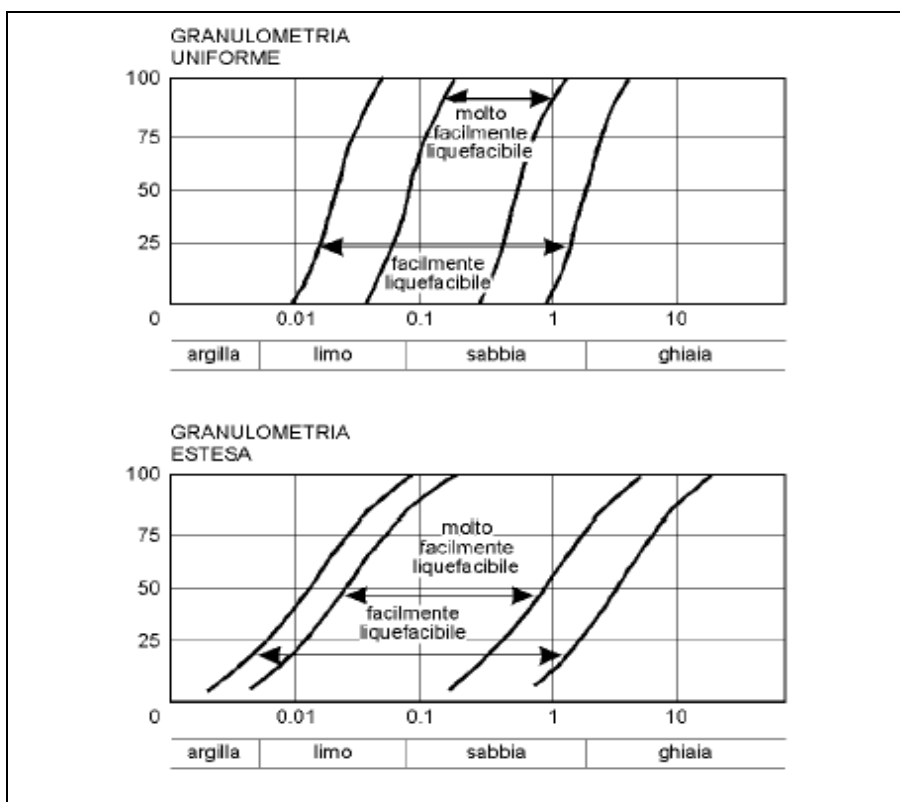


Figura 22 – Valutazione della suscettibilità alla liquefazione – fasce granulometriche critiche

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. I depositi sabbiosi sotto falda sono i terreni con più alto potenziale di liquefazione in particolare se sono di recente (in termini geologici) deposizione, e di granulometria fine o media come riportato nella Figura 22. Tutti i metodi semplificati permettono di esprimere la suscettibilità alla liquefazione del deposito attraverso un coefficiente di sicurezza, dato dal rapporto fra la resistenza al taglio mobilitabile nello strato (CSR) e lo sforzo tagliante indotto dal sisma (CRR). Cioè in pratica si ha:

$$F_s = \frac{CRR}{CSR}$$

Un deposito dovrà essere considerato suscettibile di liquefazione, se il coefficiente di sicurezza sarà minore di 1 (di 1.25 secondo l'Eurocodice 8). La grandezza CSR dipende dai parametri del sisma di progetto (accelerazione sismica e magnitudo di progetto). CRR è funzione delle caratteristiche meccaniche dello strato, principalmente del suo stato di addensamento, e può essere ricavato direttamente attraverso correlazioni con i risultati di prove penetrometriche dinamiche e statiche o con i valori delle velocità delle onde S ricavati da indagine geofisica. La grandezza CSR viene ricavata attraverso la relazione:

$$CSR = \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \cdot r_d \cdot \frac{1}{MSF}$$

dove:

- a_{max} = accelerazione sismica massima;
- g = accelerazione di gravità = 980.7 cm/s²;
- σ_{v0} = pressione verticale totale alla profondità z dal p.c.;
- σ'_{v0} = pressione verticale efficace alla profondità z dal p.c.;
- r_d = coefficiente funzione della profondità dal p.c.;
- MSF = coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma,

La grandezza r_d può essere valutata attraverso alcune correlazioni empiriche note in letteratura. Nel caso in esame è stata utilizzata la seguente:

ANDRUS e STOKOE (2000)

$$CRR = 0,022 \cdot \left(\frac{K_c \cdot V_{S1}}{100} \right)^2 + \frac{2.8}{(V_{S1C} - K_c \cdot V_{S1})} - \frac{2.8}{V_{S1C}} \qquad CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{v0}} = 0,65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \cdot r_d \cdot \frac{1}{MSF}$$

L'analisi ha riguardato i primi 30 metri da p.c.. Per la verifica del coefficiente di sicurezza è stato utilizzato il programma LIQUEF ver. 2.2 della PROGRAMGEO che impiega l'approccio probabilistico-statistico di Gumbel per ottenere la massima accelerazione di picco prevedibile nel sito per un determinato tempo di ritorno attraverso l'estrazione dal Catalogo sismico. La verifica è stata eseguita sulla base del modello sismico derivato dall'indagine sismica di dettaglio, con particolare riferimento all'andamento delle velocità Vs. Attraverso opportune elaborazioni (Andrus e Stokoe) è stato ottenuto il coefficiente di sicurezza in funzione della profondità. Il procedimento di calcolo ha previsto la suddivisione in strati omogenei con un valore di Vs caratteristico secondo i seguenti modelli (da indagine HVSr):

- 1° strato: velocità media onde Vs 163 m/sec spessore medio 2.00 m
- 2° strato: velocità media onde Vs 230 m/sec spessore medio 3.60 m

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	31 di 55
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

3° strato: velocità media onde Vs 335 m/sec spessore medio 4.00 m

4° strato: velocità media onde Vs 423 m/sec spessore medio 20.40 m

Per il profilo Tr1 è stata considerata un'accelerazione pari a 0.21 g (0.144x1.49) ricavata per edifici di classe II e una soggiacenza cautelativa della falda pari a 2.20 metri. Il calcolo ha verificato che il coefficiente di sicurezza Fs è sempre superiore all'unità, di conseguenza il coefficiente Ic è pari a 0.0 indicando un rischio molto basso (Figura 23).

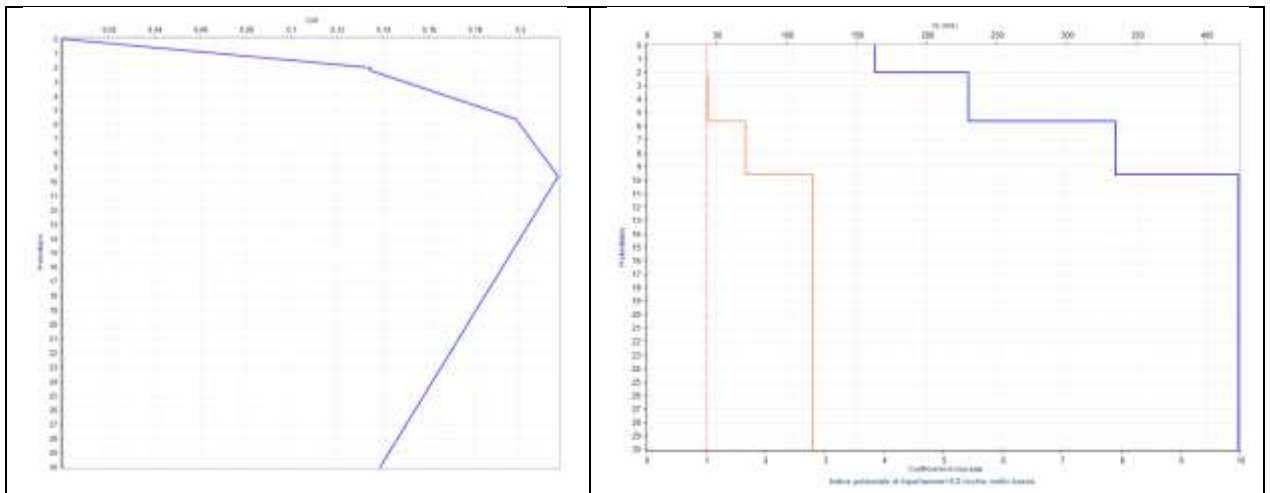


Figura 23 – Andamento dei coefficienti CSR e FS

5. VINCOLI

Nella carta di GE1-TAV 5 sono state rappresentate, alla scala 1:5.000 le principali limitazioni d'uso del territorio derivanti da normative in vigore di contenuto idrogeologico e ambientale. Nell'area in studio e nell'immediato intorno sono presenti vincoli di natura idraulica legati innanzi tutto al fatto che il sito ricade all'interno della fascia fluviale C del PAI, ovvero all'interno dell'area inondabile durante periodi di piena catastofica con tempi di ritorno $t = 500$ anni. Oltre a questo il sito in esame si colloca in prossimità delle fasce di rispetto del reticolo idrico minore (Figura 24).

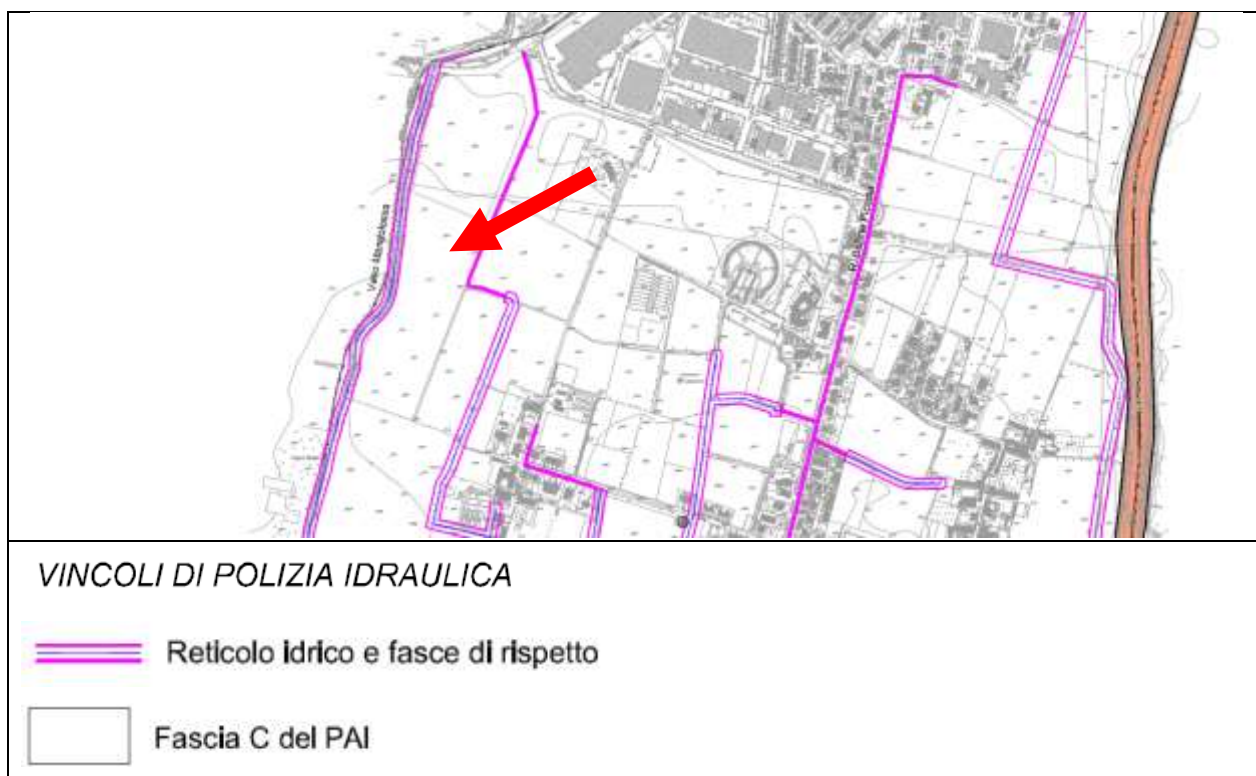


Figura 24 – Tavola dei vincoli da PGT

Le opere in progetto verranno realizzate nel rispetto dei vincoli di polizia idraulica evidenziati, pertanto ad una distanza superiore di 10 m dai corsi d'acqua del reticolo idrico secondario come evidenziato in Figura 25. Dal punto di vista idraulico il sito in esame risulta essere in sicurezza in quanto rilevato rispetto alle aree circostanti, inoltre, in fase di realizzazione delle opere il piano campagna attuale verrà ulteriormente rilevato, in modo tale

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	33 di 55
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

da raggiungere la quota del piano stradale che attualmente si trova rilevata rispetto al piano campagna di almeno 0.50/0.80 m.

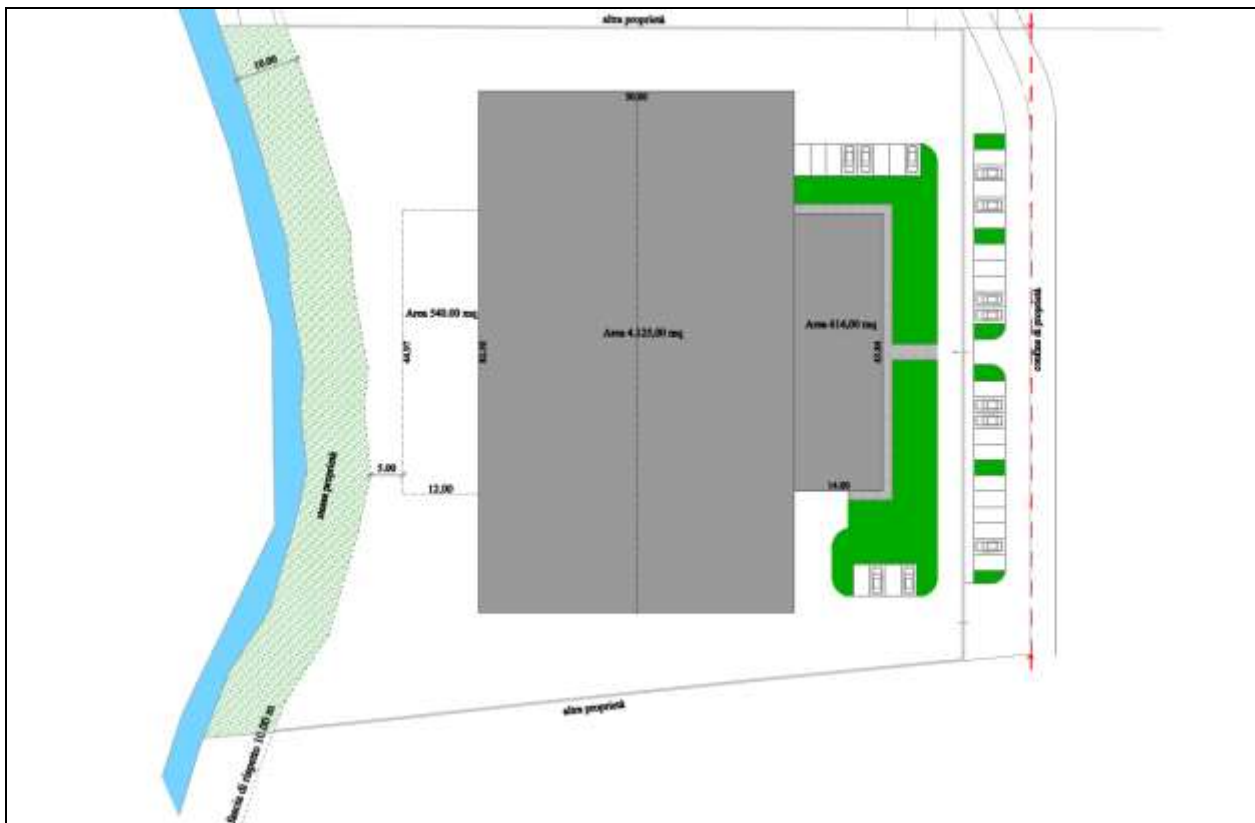


Figura 25 – Pianta di progetto

6. SINTESI

La Carta di Sintesi costituisce il documento nel quale vengono riassunti tutti i fenomeni naturali ed antropici che costituiscono una limitazione geologica alle scelte urbanistiche. Nella carta di GE1-TAV 5 sono rappresentate, alla scala 1:5.000 le aree omogenee dal punto di vista della pericolosità/vulnerabilità riferite ai singoli fenomeni responsabili di tale pericolosità/vulnerabilità. Come già evidenziato in precedenza sono presenti vincoli di natura idraulica relativi alle fasce di rispetto dei corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrico minore e relativi alla fascia fluviale C del PAI. Per l'area in esame è stata inoltre evidenziata una vulnerabilità idrogeologica alta legata alla bassa soggiacenza della falda freatica.

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	35 di 55
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

7. FATTIBILITÀ

L'area in studio è identificata nel PGT del Comune di Castel Mella con classe di fattibilità 3, ovvero fattibilità con consistenti limitazioni al cambio d'uso dovute a vulnerabilità idrogeologica e idraulica (Figura 26).



Figura 26 – Stralcio della carta della fattibilità (Studio geologico a corredo del PGT)

La classe attribuita al sito in studio è stata confermata. Al sito è assegnata la classe di fattibilità 3 a causa della vulnerabilità idrogeologica e idraulica. In base alle considerazioni contenute nei capitoli precedenti e alle indagini svolte è stata definita la fattibilità dei luoghi come indicato in GE1-TAV 6.

Al fine di preservare la falda da eventuali contaminazioni, andrà rivolta particolare attenzione alla gestione delle acque di scarico: le fognature miste o nere, se presenti, dovranno essere realizzate a tenuta bidirezionale, ovvero dall'interno verso l'esterno e viceversa; le tubazioni dovranno essere realizzate con tecnologie atte ad evitare possibili perdite. Dovrà essere previsto il trattamento delle acque di prima pioggia provenienti dalle superfici pavimentate come definito dalla normativa vigente. Per quanto riguarda le fasce di rispetto del reticolo idrico superficiale si rimanda alla normativa di settore. In ogni caso, come precedentemente detto, il progetto dovrà prevedere il mantenimento delle distanze previste dalla normativa vigente.

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	36 di 55
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

Si allega stralcio dell'articolo 31 delle NTA del PAI in cui sono rappresentate le attività vietate all'interno della fascia C:

Art. 31. Area di inondazione per piena catastrofica (Fascia C)

1. Nella Fascia C il Piano persegue l'obiettivo di integrare il livello di sicurezza alle popolazioni, mediante la predisposizione prioritaria da parte degli Enti competenti ai sensi della L. 24 febbraio 1992, n. 225 e quindi da parte delle Regioni o delle Province, di Programmi di previsione e prevenzione, tenuto conto delle ipotesi di rischio derivanti dalle indicazioni del presente Piano.

2. I Programmi di previsione e prevenzione e i Piani di emergenza per la difesa delle popolazioni e del loro territorio, investono anche i territori individuati come Fascia A e Fascia B.

3. In relazione all'art. 13 della L. 24 febbraio 1992, n. 225, è affidato alle Province, sulla base delle competenze ad esse attribuite dagli artt. 14 e 15 della L. 8 giugno 1990, n. 142, di assicurare lo svolgimento dei compiti relativi alla rilevazione, alla raccolta e alla elaborazione dei dati interessanti la protezione civile, nonché alla realizzazione dei Programmi di previsione e prevenzione sopra menzionati. Gli organi tecnici dell'Autorità di bacino e delle Regioni si pongono come struttura di servizio nell'ambito delle proprie competenze, a favore delle Province interessate per le finalità ora menzionate. Le Regioni e le Province, nell'ambito delle rispettive competenze, curano ogni opportuno raccordo con i Comuni interessati per territorio per la stesura dei piani comunali di protezione civile, con riferimento all'art. 15 della L. 24 febbraio 1992, n. 225.

4. Compete agli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica, regolamentare le attività consentite, i limiti e i divieti per i territori ricadenti in fascia C.

5. Nei territori della Fascia C, delimitati con segno grafico indicato come "limite di progetto tra la Fascia B e la Fascia C" nelle tavole grafiche, per i quali non siano in vigore misure di salvaguardia ai sensi dell'art. 17, comma 6, della L. 183/1989, i Comuni competenti, in sede di adeguamento degli strumenti urbanistici, entro il termine fissato dal suddetto art. 17,

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	37 di 55
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

comma 6, ed anche sulla base degli indirizzi emanati dalle Regioni ai sensi del medesimo art. 17, comma 6, sono tenuti a valutare le condizioni di rischio e, al fine di minimizzare le stesse ad applicare anche parzialmente, fino alla avvenuta realizzazione delle opere, gli articoli delle presenti Norme relative alla Fascia B, nel rispetto di quanto previsto dall'art. 1, comma 1, let. b), del D.L. n. 279/2000 convertito, con modificazioni, in L. 365/2000 .

Si sottolinea che l'area sarà rialzata di circa 70/80 cm rispetto al piano campagna naturale e quindi a quote tali da mettere in sicurezza il sito dal punto di vista idraulico.

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	38 di 55
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

8. GEOTECNICA

Al fine di definire le caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione in sito sono state effettuate n. 3 prove penetrometriche di cui n. 2 prove penetrometriche statiche con punta elettrica (CPTU) e n. 1 prova penetrometrica dinamica. Le indagini si sono spinte sino alla profondità massima di circa 8.70 m da p.c.. La prova penetrometrica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi δ) misurando il numero di colpi N necessari al suo avanzamento, effettuati da un maglio di dimensioni e volata predefinite (Figura 27). La prova statica prevede l'avanzamento mediante la spinta prodotta da martinetti idraulici e la conseguente lettura della resistenza all'avanzamento ogni centimetro.

DIMENSIONI E PESI				DATI TECNICI		
	DP	CPT	DP + CPT			
H [mm]	1600	1480	1600	Motore	Tipo	Benzina; 2 cil.; V
L [mm]	2450	2200	2450		Potenza [HP (kW) - RPM]	16 (12) - 3600
P [mm]	1040	1040	1040		Raffreddamento	Aria
Peso [kg]	910	810	980	Traslazione	Cingolato a trasmissione idrostatica	Cingolato Gommato
					Velocità di traslazione [km/h]	0 ÷ 1.8
					Pendenza Max %	25
				Pompa Idraulica	Numero di Pompe	2
					Max. pressione operativa [bar]	245
				Stabilizzatori	Numero	3
					Tipo	Idraulico



Figura 27 – Penetrometrica dinamico superpesante e statico da 20 ton

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica. Nella prova penetrometrica statica con punta elettrica (CPTU) lo sforzo necessario per l'infissione è misurato per mezzo di celle

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	39 di 55
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

di carico, che leggono la pressione esercitata dalla punta sul terreno. La punta conica è dotata di un manicotto sovrastante, per la misura dell'attrito laterale sempre attraverso una cella di carico. Le dimensioni della punta / manicotto sono standardizzate, e precisamente :

- diametro Punta Conica meccanica \varnothing = 35,7 mm
- area di punta A_p = 10 cm²
- angolo di apertura del cono α = 60 °

Le resistenze specifiche **Qc** (Resistenza alla punta **RP**) e **Qi** (Resistenza Laterale **RL** o **fs** attrito laterale specifico che considera la superficie del manicotto di frizione) vengono desunte tramite opportune costanti e sulla base dei valori specifici dell'area di base della punta e dell'area del manicotto di frizione. Nella prova penetrometrica dinamica lo sforzo necessario per l'infissione è misurato dal numero dei colpi del maglio le cui caratteristiche tecnico-strumentali sono le seguenti (DPSH):

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	73 Kg
Altezza di caduta libera	0.75 m
Peso sistema di battuta	7 Kg
Diametro punta conica	50.46 mm
Area di base punta	20 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	8 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0.80 m
Avanzamento punta	0.30 m
Numero colpi per punta	N(30)
Coeff. Correlazione	1.15
Rivestimento/fanghi	Si
Angolo di apertura punta	60°

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta uno dei mezzi più diffusi per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi N_{spt} ottenuto con la suddetta prova (differente da quelle eseguite),

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	40 di 55
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con Nspt. Il passaggio viene dato da:

$$Nspt = \beta_t N$$

Dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Qspt è quella riferita alla prova SPT. L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

- M = peso massa battente;
- M' = peso aste;
- H = altezza di caduta;
- A = area base punta conica;
- δ = passo di avanzamento.

Le risultanze stratigrafiche delle prove penetrometriche sono riportate in GE1-ALL 1, complete dei diagrammi e delle letture. L'ubicazione delle indagini invece è riportata in GE1-TAV 7 e in Figura 28.

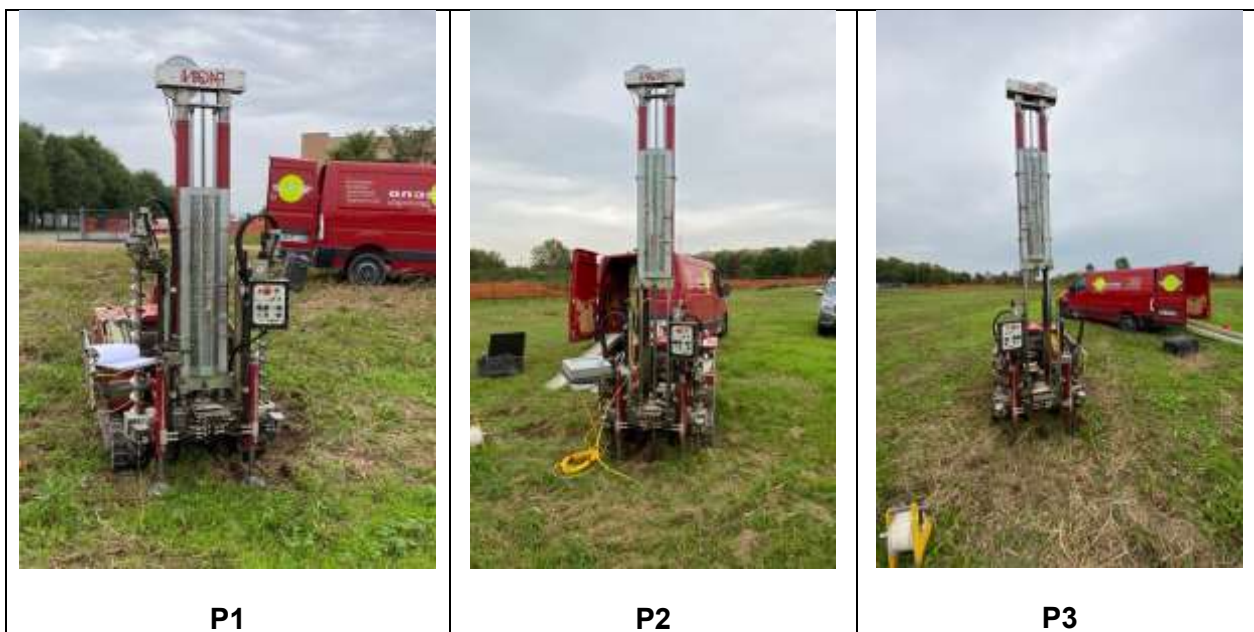


Figura 28 – Ubicazione prove penetrometriche

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	41 di 55
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

Oltre a queste prove in sito sono stati realizzati n. 8 sondaggi esplorativi. Per la definizione dei parametri geotecnici dei depositi coesivi ci si è avvalsi di un penetrometro tascabile. Questo strumento consente di misurare la resistenza di uno strato di suolo di circa 10 cm entro un valore di 6 MPa. I valori che si ottengono rappresentano il valore di resistenza massima e sono misurati per mezzo di una molla a compressione (Figura 29).



Figura 29 – Immagine rappresentativa di un penetrometro tascabile

Per la definizione dei parametri geotecnici dei terreni granulari, invece, si è fatto riferimento all'angolo di riposo dei terreni scavati che risulta rappresentativo del parametro più caratteristico, ossia l'angolo di attrito interno.

8.1. Modello geotecnico

Per la definizione dei parametri geotecnici si è fatto riferimento alle usuali correlazioni semiempiriche che definiscono i valori di coesione non drenata c_u , angolo di attrito interno ϕ , densità γ , e modulo elastico E , in relazione alla resistenza penetrometrica. Nell'area sono stati rilevati, al di sotto di un primo strato dello spessore variabile da 0.50 a 0.90 m caratterizzato da copertura costituita da suolo e/o riporto, depositi coesivi mediamente compatti caratterizzati da limi e limi sabbiosi che si estendono in profondità per circa 0.50/1.00 m. Seguono depositi prevalentemente granulari, moderatamente addensati, costituiti da sabbie fini e sabbie medie

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	42 di 55
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

talvolta associate a ghiaietto che si estendono in genere per 0.50/0.80 m, e depositi granulari addensati costituiti da ghiaie pulite continue sino alla massima profondità indagata mediante le prove effettuate. Lo studio dei parametri deve essere però sviluppato in termini non più deterministici ma bensì aleatori, cioè ciò che prima era identificato da un valore adesso è descritto da una variabile che rappresenta un insieme di numeri riferiti alla stessa grandezza fisica. La distribuzione di questa grandezza può quindi essere rappresentata da una funzione continua di tipo normale (gaussiano) dove sulle ascisse sono riportati i valori della variabile (Fs) e sulle ordinate la loro frequenza. Una evoluzione di questa particolare funzione è chiamata distribuzione di Student che ben si adatta nei casi in cui si può assistere a compensazione. Nel caso in esame per compensazione si intende il seguente concetto: il volume della eventuale massa interessata dal sovraccarico delle fondazioni è maggiore della scala di fluttuazione dei parametri che la governano, cioè di quelle porzioni di terreno che presentano geometrie o valori di resistenza differenti. E' pertanto plausibile che nel volume della massa instabile siano presenti porzioni di terreno con caratteristiche differenti. In questi casi maggiore è la tendenza a compensare le zone deboli con le forti giustificando il riferimento a valori prossimi ai valori medi. Tutte queste considerazioni sono ritenute valide in assenza di superfici di rottura preferenziali come nel caso in esame. Al fine di operare a favore di sicurezza è stato estratto il valore riferito al 5° percentile della distribuzione, ovvero **il valore caratteristico** tale che la probabilità calcolata di valori più sfavorevoli, che determinano la manifestazione dello stato limite, non sia maggiore del 5%. Questa procedura è peraltro documentata negli Eurocodici EC7 ed EC8 ed è stata ripresa nella stesura delle Norme Tecniche delle Costruzioni 2018. Sulla base delle correlazioni effettuate e della buona omogeneità dei terreni è stato definito un unico modello così schematizzato partendo dal piano campagna originale (senza considerare lo strato di riporto presente nel settore settentrionale) e considerando la condizione stratigrafica più sfavorevole:

STRATO A : da p.c. sino a -0.50 m: suolo. Parametri caratteristici: $\gamma = 1.7 \text{ kg/dm}^3$.

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	43 di 55
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

STRATO B : da -0.50 sino a -1.30 m: depositi prevalentemente coesivi mediamente compatti. Parametri caratteristici: $Cu_k = 0.6 \text{ kg/cm}^2$ $\gamma = 1.8 \text{ kg/dm}^3$.

STRATO C : da -1.30 m sino a -2.00 m: depositi granulari mediamente addensati. Parametri caratteristici: $\Phi_k = 32^\circ$ $\gamma = 1.8 \text{ kg/dm}^3$.

STRATO D : da -2.00 m sino a -8.70 m: depositi granulari addensati. Parametri caratteristici: $\Phi_k = 34^\circ$ $\gamma = 1.9 \text{ kg/dm}^3$.

A completamento del modello geotecnico è stata attribuita la categoria di appartenenza del profilo stratigrafico dei terreni di fondazione per la definizione dell'azione sismica di progetto. Vista la natura granulometrica e le risultanze delle indagini sismiche, nonché le elaborazioni di II livello, il profilo stratigrafico dei terreni di fondazione è classificabile come **tipo C** secondo i disposti della Ordinanza del Presidente del Consiglio 20 marzo 2003 n.3274 e successive modifiche.

8.2. Analisi delle soluzioni fondali

L'applicazione di un carico concentrato sulla superficie del terreno produce un fascio di reazioni con intensità decrescente allontanandosi in orizzontale ed approfondendosi sulla verticale rispetto al punto di applicazione. In funzione della geometria e delle dimensioni della fondazione o del piano di appoggio, i carichi saranno diffusi a profondità differenti. Le proprietà geotecniche dei terreni permettono l'impiego di fondazioni superficiali di qualsiasi tipologia, a plinto, nastriformi o a platea. Nell'ipotesi di progetto verranno utilizzate:

- fondazioni superficiali aventi incastro pari a circa 0.70 m per i nuovi uffici;
- fondazioni a plinto con un incastro pari ad almeno 1.20 m, posate a circa 1.80 m da p.c. attuale per i nuovi capannoni.

Durante le operazioni di scavo delle fondazioni si dovrà riservare attenzione alla natura dei depositi e dovranno essere segnalate eventuali difformità o repentine variazioni litologiche non rilevabili dall'indagine svolta. **In riferimento all'aggressività dei terreni di fondazione (UNI**

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	44 di 55
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

EN 206-1) questi possono essere classificati come XC2. Il calcestruzzo impiegato per le opere di fondazione dovrà garantire le prestazioni minime riportate nella tabella seguente.

Denom. della classe	Descrizione dell'ambiente	Esempi informativi di situazioni a cui possono applicarsi le classi di esposizione	UNI 9858	A/C MAX	R'ck min.	Dos. Min. Cem. KG.
XC2	Bagnato, raramente asciutto	Parti di strutture di contenimento liquidi, fondazioni. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso prevalentemente immerso in acqua o terreno non aggressivo.	2a	0,60	30	300

8.3. Calcolo della capacità portante

Sulla base delle informazioni desunte dal modello geotecnico e considerando la tipologia di fondazioni adottata, così come illustrato in precedenza, è possibile definire la capacità portante del terreno di imposta, il cui calcolo della capacità limite può essere eseguito con la formula di Meyerhof valida per fondazioni superficiali, modificata per il carico inclinato, che tiene conto dei fattori di forma, di fondazione, di profondità, di inclinazione del carico e degli effetti inerziali dovuti all'azione sismica nel caso delle fondazioni superficiali dei nuovi uffici che insisteranno su terreni coesivi e con la formula di Brinch Hansen valida per fondazioni superficiali, modificata per il carico inclinato, che tiene conto dei fattori di forma, di fondazione, di profondità, di inclinazione del carico e degli effetti inerziali dovuti all'azione sismica nel caso delle fondazioni a plinti dei nuovi capannoni che insisteranno su terreni granulari. In ottemperanza a quanto prescritto dalla normativa vigente ed in accordo con il Progettista si è scelto un metodo di tipo semiprobabilistico che in dettaglio corrisponde all'approccio 2 combinazione unica (STR+GEO). I riferimenti per la trasformazione della portata di progetto, ovvero i coefficienti riduttivi sono riportati nelle tabelle 6.4.II e 6.4.IV delle NTC2018. Il Progettista dovrà poi verificare che sia soddisfatta la disequazione:

$$Ed \leq Rd$$

dove Ed rappresenta il valore di progetto dell'azione o degli effetti delle azioni nelle varie combinazioni di carico mentre Rd rappresenta la resistenza del terreno.

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	45 di 55
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

8.3.1. Approccio 2 combinazione unica A1+M1+R3

Questo tipo di combinazione prevede l'impiego dei parametri caratteristici (M1) del modello geotecnico così come riportato nel capitolo precedente. Effettuando il calcolo secondo la formula sopra riportata e riducendo la capacità portante secondo i valori della tabella 6.4.1 riferendosi al coefficiente γ_r relativo a R3 (2.30) raggiungeremo la seguente portata di progetto R_d da confrontare con le azioni corrispondenti ad A1:

NUOVI UFFICI:

in condizioni statiche $R_d = 1.7 \text{ Kg/cm}^2$

in condizioni sismiche $R_d = 1.2 \text{ Kg/cm}^2$

NUOVI CAPANNONI:

in condizioni statiche $R_d = 3.0 \text{ Kg/cm}^2$

in condizioni sismiche $R_d = 2.0 \text{ Kg/cm}^2$

Nel dimensionamento delle fondazioni è tuttavia necessario tener conto non solo della resistenza al taglio dei terreni, ma anche dei cedimenti indotti dal carico applicato. E' stata pertanto eseguita una verifica dei cedimenti indotti nel terreno di fondazione per stimare il sovraccarico di esercizio (SLE) da attribuire ai depositi indagati in modo che i cedimenti derivati siano compatibili con le strutture in progetto.

8.3.2. Verifica allo slittamento

In conformità con i criteri di progetto allo SLU, la stabilità della fondazione deve essere verificata rispetto al collasso per slittamento oltre a quello per rottura generale. Rispetto al collasso per slittamento la resistenza viene valutata come somma di una componente dovuta all'adesione e una dovuta all'attrito fondazione-terreno; la resistenza laterale derivante dalla spinta passiva del terreno non è stata messa in conto. La resistenza di calcolo per attrito ed adesione è valutata secondo l'espressione:

$$FR_d = N_{sd} \tan \delta + c_a A'$$

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	46 di 55
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

Nella quale N_{sd} è il valore di calcolo della forza verticale, δ è l'angolo di resistenza al taglio alla base del plinto, c_a è l'adesione fondazione-terreno e A' è l'area della fondazione efficace, intesa, in caso di carichi eccentrici, come area ridotta al centro della quale è applicata la risultante. Riducendo gli esiti dei calcoli secondo i valori della tabella 6.4.I riferendosi al coefficiente γ_r relativo a R3 (1.10), la resistenza allo slittamento risulta:

NUOVI UFFICI

$R_d = 0.43 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow$ considerando un carico di fondazione pari a 1.20 kg/cm^2 (carico di esercizio SLE)

NUOVI CAPANNONI

$R_d = 0.85 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow$ considerando un carico di fondazione pari a 1.70 kg/cm^2 (carico di esercizio SLE)

8.4. Calcolo dei cedimenti

Il cedimento di una fondazione è riconducibile allo stato limite di esercizio della struttura (SLE), ed in questo caso i valori caratteristici dei parametri geotecnici sono uguali ai valori di progetto ($f_d = f_k$). Inoltre i coefficienti parziali sulle azioni A e sui parametri di resistenza R sono sempre unitari: A1+M1+R1. Il calcolo dei cedimenti indotti sul terreno dal carico trasmesso dalle fondazioni delle opere in progetto è stato effettuato sulla base del modello geotecnico; l'andamento dell'incremento di pressione verticale con la profondità è stato calcolato nell'ipotesi di validità della teoria di Bousinesq per un punto in asse alla fondazione. I cedimenti sono dovuti alla deformazione elastica e plastica del terreno e, nel caso di terreni poco permeabili (argille e limi), al processo di lenta espulsione dell'acqua contenuta al loro interno (consolidazione). In quanto le caratteristiche geotecniche del terreno variano da punto a punto, così come spesso variano da punto a punto anche le condizioni di carico, i cedimenti possono assumere localmente valori differenti. Il cedimento calcolato in un punto prende il nome di cedimento assoluto; la differenza fra i cedimenti assoluti misurati in due o più punti

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	47 di 55
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

prende il nome di cedimento differenziale. Il cedimento assoluto totale è dato dalla somma di tre componenti:

$$S_{tot} = S_{imm} + S_{con} + S_{sec}$$

S_{imm} = **cedimento immediato**, dovuto alla deformazione iniziale, senza variazione di volume, del terreno caricato; è prevalente nei terreni incoerenti (coesione=0), trascurabile in quelli coesivi (coesione>0);

S_{con} = **cedimento di consolidazione**, legato alla variazione di volume del terreno saturo, in seguito alla lenta espulsione dell'acqua contenuta al suo interno; è dominante nei terreni coesivi, poco permeabili, e trascurabile in quelli incoerenti (da mediamente a molto permeabili);

S_{sec} = **cedimento secondario**, dovuto alla deformazione viscosa dello scheletro solido del terreno; normalmente trascurabile in tutti i tipi di terreno.

I cedimenti sono stati calcolati mediante la teoria dell'elasticità. Si tratta di un metodo speditivo utile per avere una prima indicazione dell'ammontare del cedimento. La relazione utilizzata è la seguente:

$$S = DH \times Qz / Ed;$$

dove:

DH = spessore dello strato;

Qz = incremento di pressione dovuto al sovraccarico applicato a metà strato;

Ed = Modulo di deformazione dello strato 1/mv.

La fondazione è stata considerata rigida. Da questa formula, imponendo un carico di esercizio (SLE) sulle fondazioni superficiali dei nuovi uffici pari a 1.20 kg/cm² si ricavano valori dei cedimenti nell'ordine dei 15/20 millimetri, mentre imponendo un carico di esercizio (SLE) sulle fondazioni a plinto dei nuovi capannoni pari a 1.70 kg/cm² si ricavano valori dei cedimenti nell'ordine dei 10/15 millimetri. I valori sono risultati conformi con il grado di addensamento rilevato nei depositi. I cedimenti calcolati corrispondono alla sola componente immediata, ossia quella porzione di cedimenti che si esaurirà al momento della posa delle fondazioni. I cedimenti secondari e differenziali sono considerati trascurabili. Si consiglia di non superare i valori di esercizio indicati (SLE) al fine di contenere i cedimenti.

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	48 di 55
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

9. TERRE DA SCAVO

Si ricorda che tutte le opere che prevedono la produzione di terre da scavo (fondazioni, interrati, sbancamenti etc) sono normate dal D.Lgs 3 aprile 2006 n. 152 (Norme in materia ambientale) e dai relativi Allegati come modificato dal D. lgs. 4/2008 dal D. lgs. 205/2010, dal D.M. 10.08.2012 n.161, dalla Legge n.98 del 09.08.2013 conversione del Decreto del Fare e recentemente dal DPR 120 del 13.06.2017 in vigore dal 22.08.2017. In sostanza la legislazione prevede che le terre prodotte dagli scavi siano considerate rifiuto e come tale debbano essere smaltite, ovvero debbano essere conferite alle discariche autorizzate con la compilazione del formulario. La norma prevede altresì che le terre possano essere esonerate dal regime dei rifiuti purché siano rispettate contemporaneamente le seguenti condizioni:

1. presenza di inquinanti nei limiti di legge
2. effettivo riutilizzo
3. esclusione da preventivi trattamenti per il riutilizzo, ad eccezione delle normali pratiche industriali e di cantiere.

Un ulteriore differenza risiede nella natura autorizzativa dell'opera in progetto che configura scenari diversi nel caso in cui si tratti di Autorizzazione Integrata Ambientale (AIA) o di Verifica di Impatto Ambientale (VIA). In questi casi si applica l'iter previsto dal D.M. 10.08.2012 n.161. Pertanto in tutti gli altri casi, fatte salve le condizioni sopra riportate, i materiali da scavo (di cui all'art.1, comma1, lettera b del D.M. 161/2012) sono sottoposti al regime dei sottoprodotti di cui all'art. 4 del DPR 120 del 13.06.2017, il proponente o il produttore deve attestare il rispetto delle suddette condizioni tramite dichiarazione resa all'Agenzia regionale per la protezione ambientale (ARPA) ai sensi e per gli effetti del Testo Unico del DPR 445/2000. L'Arpa si riserva la facoltà di effettuare il controllo sia su base documentale, attraverso gli atti in possesso dell'Agenzia, sia attraverso controlli diretti in campo ove lo ritenga necessario e provvedere ad effettuare sopralluoghi ed eventuali campionamenti in contraddittorio con il Proponente, finalizzati a verificare il rispetto dei limiti previsti dalla norma e come dichiarato nella certificazione. Qualora in accordo al comma 3

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	49 di 55
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

dell'art.71 del DPR 445/2000 Arpa rilevi nelle dichiarazioni ricevute e per gli aspetti ambientali di competenza “ delle irregolarità o delle omissioni rilevabili d'ufficio, non costituenti falsità, dà notizia all'interessato di tale irregolarità. Questi è tenuto alla regolarizzazione o al completamento della dichiarazione; in mancanza il procedimento non ha seguito” e, conseguentemente, i materiali da scavo devono essere considerati rifiuti, e come tali trattati. Medesima conclusione è prevista qualora dai controlli effettuati si dimostri che i materiali di scavo non rispettano i requisiti previsti dall'art.4 del DPR 120 del 13.06.2017, decadendo le condizioni per poterli considerare quali sottoprodotti. In questi casi rientrando nel regime normativo dei rifiuti dovranno essere valutate le conseguenti eventuali ipotesi di reato per il Proponente, il Ricevente, il Trasportatore. Si ricorda che i reati in campo ambientale sono soggetti a procedimento penale oltre che amministrativo. **La nuova normativa ha chiarito in modo preciso anche il trattamento dei materiali di scavo reimpiegati nel cantiere di produzione. Tali materiali sono esentati dal regime dei rifiuti se conformi ai requisiti di cui all'art. 185, comma 1, lettera c, del decreto legislativo 152/2006; la non contaminazione deve essere verificata secondo i disposti dell'allegato 4 del DPR 120/2017.**

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	50 di 55
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

10. INDICAZIONI RIGUARDO L'INVARIANZA

La nuova Legge regionale sulla difesa del suolo, sulla prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico e sulla gestione dei corsi d'acqua (l.r. n. 4 del 15 marzo 2016) ha come scopo principale l'attenuazione del livello di rischio idrogeologico al fine della tutela dei cittadini e delle attività economiche, attraverso iniziative capaci di mettere in sicurezza il territorio. La legge specifica e disciplina le attività di competenza di Regione Lombardia riguardanti la difesa del suolo, la gestione dei corsi d'acqua e del demanio idrico nel territorio regionale. Inoltre, stabilisce gli strumenti utili a realizzare tali attività per raggiungere gli obiettivi legati alla difesa del suolo, alla gestione del demanio idrico fluviale e al riassetto idraulico e idrogeologico. I principali temi che la legge affronta sono:

- gestione coordinata del reticolo idrico minore, di competenza comunale, e dei reticoli principale e consortile
- rispetto dell'invarianza idraulica, dell'invarianza idrogeologica e del drenaggio urbano sostenibile
- attività di polizia idraulica nel demanio idrico fluviale
- manutenzione continuata e diffusa del territorio, dei corsi d'acqua, delle opere di difesa del suolo, delle strutture e dei sistemi agroforestali di difesa del suolo
- ripristino delle condizioni di maggiore naturalità dei corsi d'acqua, recupero delle aree di pertinenza idraulica e riqualificazione fluviale
- riordino delle competenze sulla navigazione interna delle acque
- nuove competenze in tema di difesa del suolo per i Consorzi di bonifica e irrigazione.

Nel caso in studio, il tema d'interesse riguarda l'invarianza idraulica che in sintesi consiste nella limitazione dei deflussi delle acque verso il reticolo idrico o la fognatura in caso di realizzazione di nuovi edifici civili e industriali, di parcheggi e strade e di interventi di riqualificazione o comunque di trasformazione del suolo. Nello specifico l'articolo di riferimento è il n.7 che introduce il concetto ed apporta modifiche al testo della legge regionale n.12/2005 (Legge per il Governo del Territorio). Al comma 5, l'articolo fa riferimento al Regolamento

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	51 di 55
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

(R.R. 7/2017 del 23.11.2017 – R.R. 8/2019 del 19.04.2019) contenete i metodi e i criteri per il rispetto dell'invarianza idraulica ed idrogeologica. Sulla base di diversi fattori indicati dal Regolamento i contenuti del progetto di invarianza configurano tipologie di studi via via più approfonditi (articolo 9). La tipologia del caso in studio dovrà essere verificata nella tabella di Figura 30.

CLASSE DI INTERVENTO	SUPERFICIE INTERESSATA DALL'INTERVENTO	COEFF. DEFLUSSO MEDIO PONDERALE	MODALITA' DI CALCOLO		
			AMBITI TERRITORIALI (ARTICOLO 7)		
			AREA A - B	AREA C	
0	Impermeabilizzazione potenziale qualsiasi	≤ 0.03 ha (≤ 300 mq)	qualsiasi	Requisiti minimi art.12 comma 1	
1	Impermeabilizzazione potenziale bassa	Da > 0.03 a ≤ 0.1 ha (da > 300 a ≤ 1000 mq)	≤ 0.4	Requisiti minimi art.12 comma 2	
2	Impermeabilizzazione potenziale media	Da > 0.03 a ≤ 0.1 ha (da > 300 a ≤ 1.000 mq)	> 0.4	Metodo delle sole piogge (vedi articolo 11 e allegato G)	Requisiti minimi articolo 12 comma 2
		Da > 0.1 a ≤ 1 ha (da > 1.000 a ≤ 10.000 mq)	qualsiasi		
		Da > 1 a ≤ 10 ha (da > 10.000 a ≤ 100.000 mq)	≤ 0.4		
3	Impermeabilizzazione potenziale alta	Da > 1 a ≤ 10 ha (da > 10.000 a ≤ 100.000 mq)	> 0.4	Procedura dettagliata (vedi articolo 11 e allegato G)	

Figura 30 - Tabella 1 - RR 08/2019

11. CONCLUSIONI

L'indagine effettuata e i rilievi eseguiti consentono di trarre le seguenti conclusioni:

1. L'area in studio ricade nel comune di Castel Mella, classificato dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio in data 20 marzo 2003 n.3274 come di classe 3. La recente riclassificazione della Regione Lombardia ha riconfermato la classe di appartenenza.
2. Secondo i disposti dell'Ordinanza Presidente del Consiglio n.3274/2003 i terreni di fondazione sono classificabili come di tipo C nel caso si utilizzino fondazioni superficiali (come nel caso dei nuovi uffici) e di tipo B nel caso si utilizzino fondazioni più profonde (come nel caso dei nuovi capannoni). Dagli approfondimenti eseguiti si assegna la classe topografica T1.
3. L'analisi sismica di II livello ha restituito valori di Fa superiori rispetto alle soglie proposte dalla Regione Lombardia per il comune di Castel Mella nel caso di sottosuolo di tipo B. In questo caso si è proceduto al declassamento del sottosuolo alla categoria di sottosuolo superiore, ovvero la C. L'analisi sismica di II livello ha restituito invece valori di Fa inferiori rispetto alle soglie proposte dalla Regione Lombardia per il comune di Castel Mella nel caso di sottosuolo di tipo C.
4. L'area in variante è costituita da terreni caratterizzati da Deposito fluvio-glaciali e fluviali a litologia prevalentemente ghiaiosa e sabbiosa, con presenza di uno strato di copertura costituito da materiale limoso e limoso sabbioso..
5. L'assetto geomorfologico dell'area è sostanzialmente sub pianeggiante. Non sono stati rilevati fenomeni geomorfologici in atto o in evoluzione.
6. La falda è stata misurata durante le indagini dell'Ottobre 2019 e presenta una soggiacenza pari a circa 2.20 metri.
7. I terreni di fondazione non saranno soggetti a fenomeni di liquefazione in caso di sisma.
8. Nell'area di variante è confermata la classe di fattibilità espressa nella componente geologica a corredo del Piano di governo del territorio del comune di Castel Mella. La

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	53 di 55
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

classe di riferimento è la 3, ovvero fattibilità con consistenti limitazioni al cambio d'uso dovute alla vulnerabilità idrogeologica e idraulica del sito.

9. Le terre da scavo dovranno essere trattate nel rispetto della normativa vigente.

Per quanto esposto ed illustrato si dichiara la fattibilità dell'intervento, sotto il profilo geologico, idrogeologico, sismico e geotecnico.

Seniga 11.11.2019

Dr. Geol. Corrado Aletti
(documento firmato digitalmente)

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Gennaio 2020	0	54 di 55
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

12. TABELLA RIASSUNTIVA PARAMETRI GEOLOGICI

FOGLIO	3					
MAPPALE	579					
QUOTA (m.s.m)	113.50					
QUOTA FALDA (m.s.m)	108.00					
SOGGIACENZA (m)	5.50 (da PGT) / 2.20 (misurata)					
CLASSE FATTIBILITA'	3					
ZONA SISMICA	3					
PERICOLOSITA' SISMICA	Z4a					
ANALISI SISMICA DI II LIVELLO	Fa < Soglia (per sottosuolo C) Fa > Soglia (per sottosuolo B)*					
CLASSE TOPOGRAFICA	T1					
CATEGORIA DEL SOTTOSUOLO	C da p.c. e da piano fondazioni nuovi uffici B da piano fondazioni nuovi capannoni → declassato a C*					
CLASSE DELL'EDIFICIO	II					
PARAMETRI SISMICI		Ag (g)	Fo	Tc (s)		
	SLV	0.144	2.413	0.277		
	SLD	0.053	2.405	0.232		
AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA SS	1.49					
AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA ST	1.00					
FREQUENZA FONDAMENTALE (Hz)	3.83					
LIQUEFAZIONE	NO					
MODELLO GEOTECNICO	Nome	Profondità	γ (kg/dm ³)	φ (°)	Cu (kg/cm ²)	E (kg/cm ²)
	A	0.0 – 0.5	1.7	/	/	/
	B	0.5 – 1.3	1.8	/	0.6	70
	C	1.3 – 2.0	1.8	32	/	300
	D	2.0 – 8.7	1.9	34	/	400
TIPO DI FONDAZIONE	FONDAZIONI SUPERFICIALI PER I NUOVI UFFICI FONDAZIONI A PLINTO PER I NUOVI CAPANNONI					
RESISTENZA SLU FONDAMENTALE kg/cm ²	NUOVI UFFICI → 1.7 NUOVI CAPANNONI → 3.0					
RESISTENZA SLU SISMICA kg/cm ²	NUOVI UFFICI → 1.2 NUOVI CAPANNONI → 2.0					