

VIA SUARDI

Recupero urbano dell'area della ex caserma "LI GOBBI" in via Suardi , Bergamo
Attuazione della UMI 1, ambito AT_e/i/s5 del PGT
"ex Amac - ex caserma Li Gobbi - Vigili del fuoco"

tavola

G

PIANO ATTUATIVO

INTEGRAZIONE 6 - 05.11.2013

protocollo n.
cp. 291

scala

RELAZIONE GEOLOGICA DI SUPPORTO AL PIANO ATTUATIVO

aggiornamenti
1 18.07.2012

data
24.05.2012

progettisti
arch. Pippo Traversi

committente
WORLD BUILDING S.P.A.

2 06.08.2012

orientamento

3 12.10.2012

4 21.01.2013

5 05.07.2013

6 05.11.2013

7

8

collaboratori:

arch. Gianluigi Facchini

Pippo Traversi Ferdinando Traversi architetti associati

Bergamo - via Locatelli, 23 - tel. 035-222436, fax 035-235045

Albino - via G. Marconi n.2/2



ASACERT
ISO 9001:2008
QUALITY MANAGEMENT SYSTEM



PROVINCIA: BERGAMO

COMUNE: BERGAMO

LOCALITA': VIA SUARDI

COMMITTENTE: WORLD BUILDING

OGGETTO:

RELAZIONE GEOLOGICA DI SUPPORTO ad un intervento edilizio riguardante l'area del PIANO ATTUATIVO UMI 1 ambito AT e/i/s5 ex Amac - ex caserma "Li Gobbi" - Vigili del Fuoco di Recupero urbano dell'area della ex caserma "LI GOBBI"

DATA: MAGGIO 2012

La presente relazione ha esclusiva finalità geologiche. Si scoraggia ogni altro uso od interpretazione impropria, quale geotecnica, tecnico economica, ambientale, ecc.
E' vietata la riproduzione non autorizzata di questo documento ed ogni sua divulgazione incompleta

INDICE

1) PREMESSA	Pag. 2
2) INQUADRAMENTO TERRITORIALE	Pag. 3
3) INQUADRAMENTO GEOLOGICO	Pag. 3
4) INQUADRAMENTO IDROGRAFICO	Pag. 6
5) INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	Pag. 8
6) INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	Pag. 9
7) LITOSTRATIGRAFIA DEL SOTTOSUOLO	Pag. 12
8) CONSIDERAZIONI SULLE CONDIZIONI DI INTERVENTO E FATTIBILITA' GEOLOGICA	Pag. 13
9) VALUTAZIONE DELLA COMPATIBILITA' GEOLOGICA DELL'INTERVENTO IN COERENZA CON LE PRESCRIZIONI DEL P.T.C.P.	Pag. 18
10) ANALISI SISMICA	Pag. 21
11) SPECIFICHE COSTRUTTIVE DI MASSIMA E DEFINIZIONE PUNTUALE DEI SUPPLEMENTI DI INDAGINE	Pag. 33
12) CONCLUSIONI	Pag. 34

1) PREMESSA

Lo scrivente è stato incaricato di svolgere la relazione geologica di supporto relativamente ad un intervento edilizio riguardante l'area del PIANO ATTUATIVO UMI 1 ambito AT e/i/s5 ex Amac - ex caserma "Li Gobbi" - Vigili del Fuoco di Recupero urbano dell'area della ex caserma "LI GOBBI" in comune di Bergamo via Suardi.

Viene valutata anche la compatibilità dell'intervento in coerenza con quanto previsto dal cap. 6.12.1 delle Nuove Norme Tecniche Per le Costruzioni D.M. 14 gennaio 2008.

Ciò comporta la caratterizzazione della zona di interesse in termini di pericolosità geologica intrinseca per processi geodinamici interni (nel nostro caso sismicità) ed esterni (stabilità del pendio, processi geomorfici in atto, ecc.) individuando la puntuale definizione degli eventuali supplementi di indagine in relazione alla Classe di Fattibilità 3 con consistenti limitazioni attribuita all'area dallo Studio geologico, idrogeologico e sismico del PGT, nonché attuando la prescritta verifica di 2° livello del valore di soglia ed eventuale approfondimento sismico in relazione alla classe di pericolosità sismica Z4 L2-3 "aree soggette ad amplificazione litologica" attribuita al sito dallo stesso Studio. Viene preso in esame un intorno significativo rispetto al sito in oggetto per il quale vengono definite le principali caratteristiche geologiche, geomorfologiche idrogeologiche e sismiche, producendo un documento di sintesi. La relazione geotecnica da effettuarsi in fase esecutiva di progetto dovrà tenere conto, ai sensi delle normative vigenti, delle indicazioni di massima riguardanti l'indagine geognostica che verranno date nel capitolo conclusivo della presente relazione.

2) INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area di intervento è ubicata nel settore NE dell'abitato di Bergamo, nell'ambito di un'area caratterizzata da una moderata pendenza verso SW. Si allega in figura 1 la relativa corografia.

3) INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Si allega in figura 2 la Carta Geologica a scala 1:25000 tratta dalla *Carta Geologica della Provincia di Bergamo a scala 1:50.000 redatta dal Servizio Territorio della Provincia di Bergamo - Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Milano - Centro Studio per la Geodinamica Alpina*; la carta geologica della Componente Geologica del PGT di Bergamo redatto da Studio EUROGEO snc si è verificato coincidere con quest'ultima.

I depositi colluviali che costituiscono i Colli di Bergamo, si raccordano e presumibilmente li ricoprono, dolcemente, i depositi fluvioglaciali costituenti larga parte della pianura bergamasca.

Questi ultimi sono costituiti da alluvioni depositate per opera delle acque di fusione dei ghiacciai alpini e prealpini al termine delle diverse fasi glaciali. Tali depositi sono stati suddivisi, sulla base di studi più recenti (Carta Geologica della Provincia di Bergamo a scala 1: 50.000), in diverse unità. L'area in esame si inserisce in particolare nell'ambito dell' **"UNITA' DI TORRE BOLDONE"** - (Pleistocene medio).

Tale unità, appartenente al complesso di Ponte della Selva, è stata indicata dagli autori precedenti come Fluvioglaciale ghiaioso ad argille arancio in tutta la massa - Diluvium medio,

Fluvioglaciale Riss. Risulta costituita da depositi fluvioglaciali con ghiaie poligeniche pedogenizzate a supporto di matrice limoso argillosa. I ciottoli sono per la maggior parte siliceo - quarzosi e cristallini; mancano totalmente gli elementi calcarei. I depositi fluvioglaciali sono costituiti da ghiaie poligeniche pedogenizzate a supporto di matrice limoso sino ad argillosa.

I ciottoli sono per la maggior parte residuali, terrigeni silicei e cristallini, quasi assenti gli elementi calcarei.

Di seguito viene data una sintetica descrizione delle altre unità presenti nel territorio circostante.

"UNITA' POSTGLACIALE - depositi alluvionali (119c)" (Pleistocene sup-Olocene)

Si tratta di una unità di nuova istituzione che comprende le "Alluvioni recenti e antiche" della precedente letteratura. In particolare in corrispondenza del territorio in esame tale unità è rappresentata dalle "Alluvioni antiche" costituenti i terrazzi immediatamente sovrastanti l'alveo di piena del T. Morla, con la sola esclusione delle alluvioni attuali localizzate lungo l'alveo attivo del torrente.

Risultano costituite da depositi prevalentemente ghiaioso sabbiosi con copertura eluviale prevalentemente sabbioso limosa in spessori medi compresi tra 50 e 100 cm e contenuto in ghiaie via via crescenti con la profondità; al di sotto di tale coltre eluviale seguono ciottoli e ghiaie sabbioso limose.

"COMPLESSO DI PALAZZAGO - depositi alluvionali (117)"

(Pleistocene medio superiore)

Si tratta di una unità di nuova istituzione che raggruppa diverse unità (depositi alluvionali, colluviali, di conoide).

In corrispondenza dell'area investigata è in particolare rappresentato dai depositi alluvionali fluvioglaciali del

"Diluvium medio" della precedente letteratura rappresentati da argille eluviali giallo arancio in spessori di 2 - 2.5 m ricoprenti depositi fluvioglaciali costituiti da ghiaie, ciottoli e blocchi eterometrici da spigolosi ad arrotondati in matrice argilloso limosa e supporto clastico o di matrice.

"COMPLESSO ALTERITICO (116)"-(Neogene?-Pleistocene inf.)

Risulta costituito da argille limose con rari clasti residuali, derivanti dalla rifluitazione dei paleosuoli sviluppati su substrato terrigeno (successioni cretatiche) o carbonatico (Sass della Luna) su cui giacciono.

La pedogenesi è sempre estremamente sviluppata, con diffuse patine Fe-Mn e screziature che spesso conferiscono un aspetto variegato ai depositi

Tale unità non affiora in corrispondenza dell'area in esame ma è presente immediatamente a Nord del termine del tracciato ciclopedonale.

"UNITA' DI VALTESSE (85)"-(Pleistocene inferiore)

Tale unità è stata indicata dagli autori precedenti come fluvioglaciale completamente alterato in argille rosse (Ferretto) - Diluvium Antico o Fluvioglaciale Mindel, risulta costituita da depositi colluviali e fluvioglaciali. Nel settore in esame sono presenti depositi fluvioglaciali costituiti da ghiaie poligeniche pedogenizzate a supporto di matrice limoso argillosa.

I ciottoli sono per la maggior parte residuali, terrigeni silicei e cristallini, quasi assenti gli elementi calcarei.

"UNITA' DI COMUN NUOVO (93)"-(Pleistocene superiore)

Affiora immediatamente ad Est dell'area cimiteriale.

Si tratta di ghiaie a supporto clastico con matrice sabbiosa, da medio grossolane a molto grossolane, localmente sono presenti

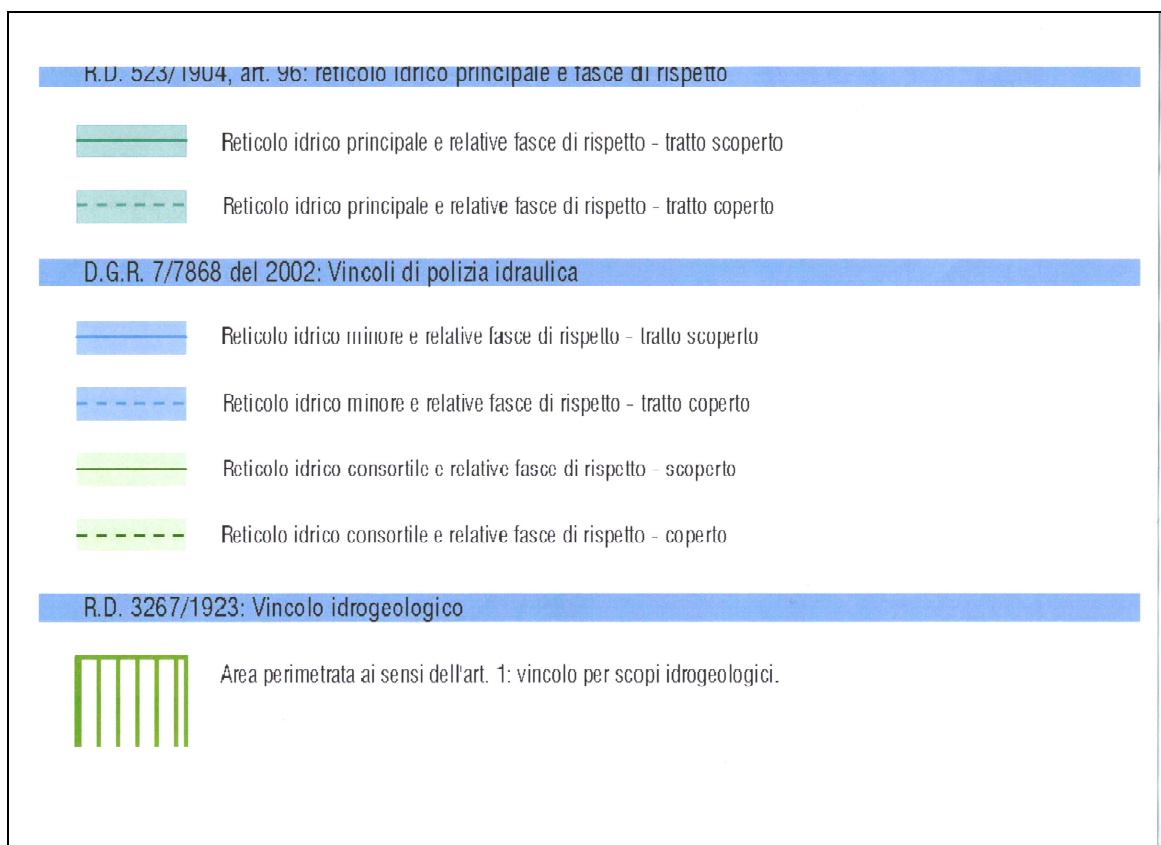
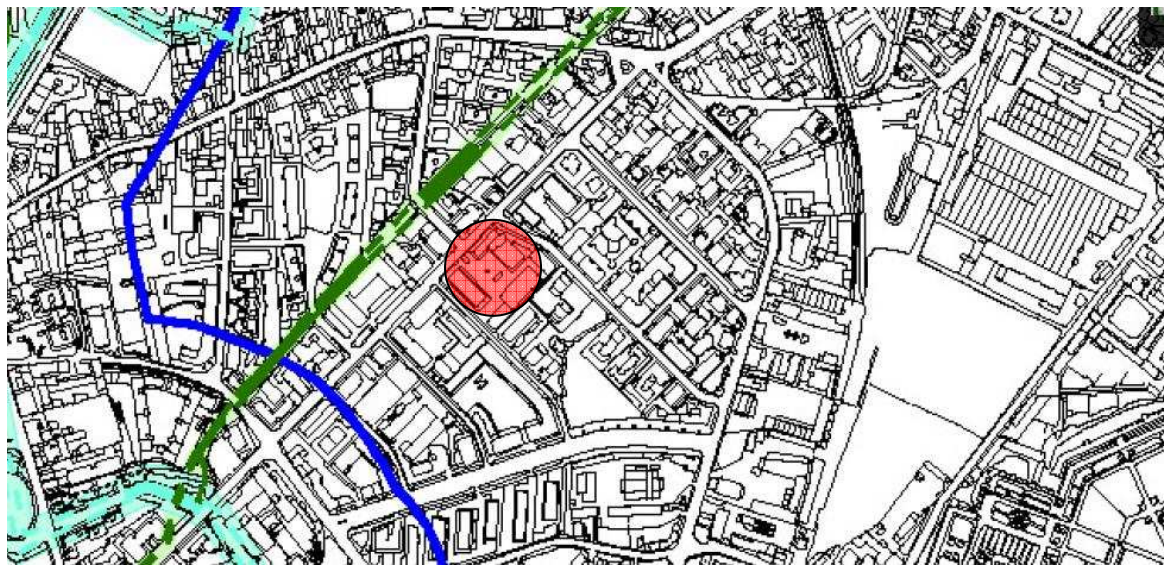
anche massi.

Presentano una stratificazione grossolana suborizzontale e frequenti strati sabbiosi. La cementazione è scarsa e localizzata in sottili livelli discontinui.

4) INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

Per quanto riguarda le linee di deflusso superficiale delle acque incanalate, si riporta in figura 3 la carta "storica" delle rogge e canali del comune di Bergamo, con i tracciati ancora ben visibili stante la modesta urbanizzazione all'epoca della sua stesura. Si evidenzia la presenza della Roggia Serio Inferiore, che scorre poco ad ovest dell'area in oggetto. Considerate le caratteristiche di permeabilità scarse dei terreni su cui scorre tale roggia non si possono escludere perdite idriche in prossimità.

Sulla carta dei vincoli costituente la componente geologica del PGT di seguito allegata in Figura 4 sono indicate le distanze che vanno osservate per consentire l'accessibilità per interventi di manutenzione e la realizzazione di interventi di difesa e manutenzione.



Carta dei vincoli - Fig. 4

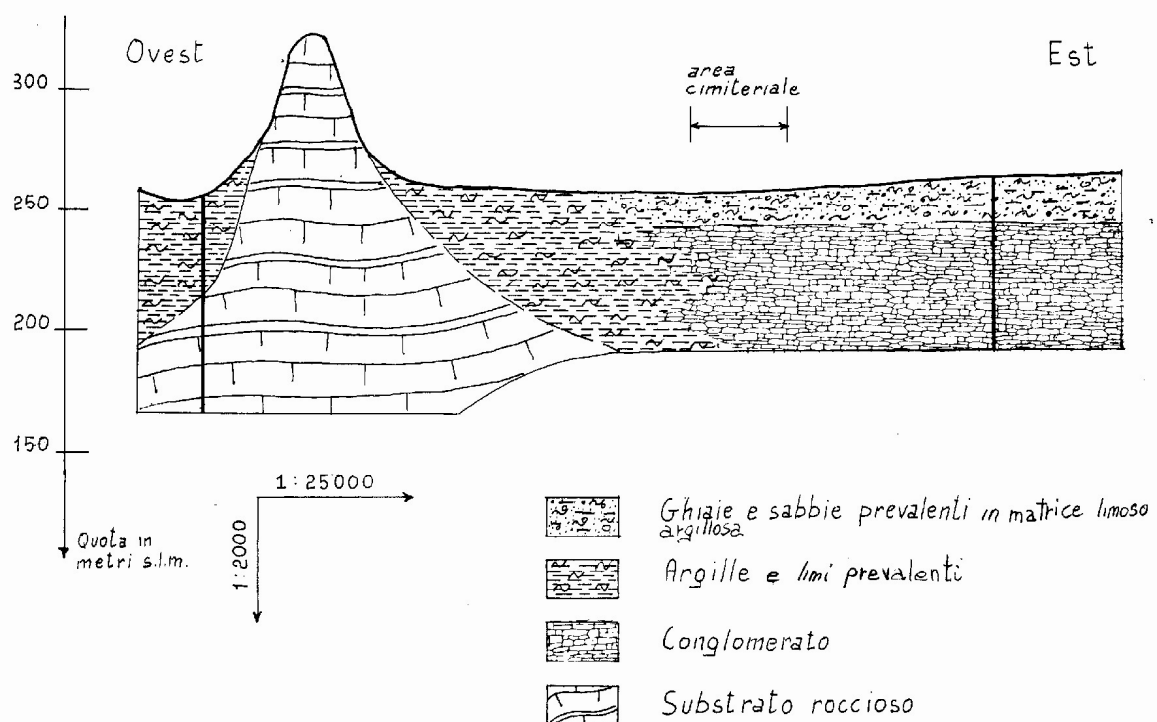
5) INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'area in oggetto si colloca in un ambito territoriale subpianeggiante con una debole pendenza verso Sud; nella ricognizione del sito non sono stati rilevati né processi geomorfici in atto né evidenze di dissesti in atto o potenziali. Si è presa inoltre in esame la cartografia tematica contenuta nella componente geologica del PGT del comune di Bergamo redatta da Eurogeo:

- CARTA GEOMORFOLOGICA (SG2): non sono segnalate forme e processi legati a gravità o ad acque correnti superficiali o a processi morfogenetici in atto.
- CARTA DELLA DINAMICA GEOMORFOLOGICA (SG3): non è segnalato alcun processo geomorfologico legato alla gravità o alle acque correnti superficiali.
- CARTA P.A.I. (SG15): L'area in esame non è interessata da fenomeni esondativi e dissesti di carattere torrentizio, né da trasporto di massa su conoidi.
- CARTA DEI VINCOLI (SG12): non si rilevano vincoli (figura 4).

6) INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

L'area in esame si colloca in corrispondenza della fascia di terreni che fanno transizione tra i rilievi collinari, privi di strutture idriche significative e la pianura sede invece di corpi acquiferi sotterranei sempre più importanti mano a mano che ci si allontana dai rilievi. La sezione idrogeologica di seguito riportata in figura 5 esemplifica la struttura idrogeologica.



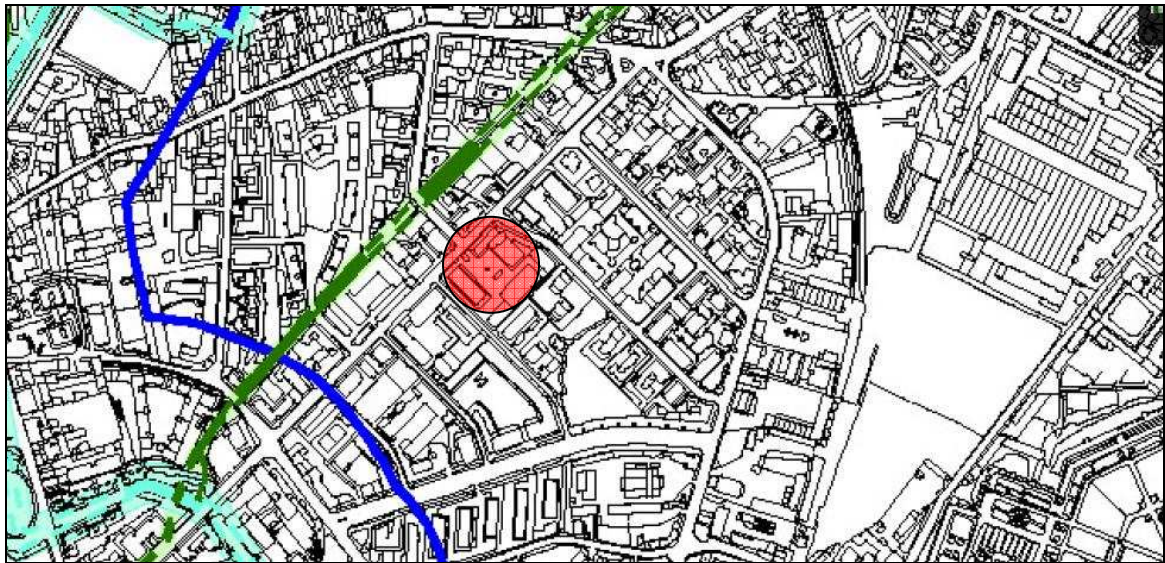
Sezione idrogeologica - Fig. 5

La falda freatica che caratterizza a scala regionale il

territorio Bergamasco inizia a trarre origine a partire dal limite meridionale dei rilievi collinari, poco a Sud e ad Est del centro storico di Bergamo, e quindi in corrispondenza dell'area oggetto di studio non è ancora ben definita, sia a causa dell'elevata eterogeneità tessiturale che della bassa permeabilità dei terreni.

Ai depositi fluvioglaciali dell'Unità di Torre Boldone (Diluvium medio), su cui insiste l'area in oggetto, e dell'Unità di Valtesse (Diluvium antico), posta poco ad Ovest, sono infatti attribuibili valori di permeabilità complessivamente bassi.

L'area in esame si colloca in un settore sub pianeggiante nell'ambito del quale inizia a trarre origine la struttura idrica direttamente ricollegabile al corpo idrico principale che caratterizza il sottosuolo della pianura di Bergamo, pur se ancora caratterizzata da valori di trasmissività complessivamente ridotti. In corrispondenza del territorio in esame sono presenti terreni di bassa permeabilità; in particolare nell'ambito dei depositi fluvioglaciali della Unità di Torre Boldone (ghiaie poligeniche pedogenizzate a supporto di matrice limoso argillosa) risulta difficoltoso l'instaurarsi di corpi idrici con significativa trasmissività. L'assetto piezometrico ed il grado di permeabilità dei terreni risulta illustrato nella seguente figura n° 6, tratta dallo studio geologico del PGT di Bergamo redatto da EUROGEO.



- I - Permeabilità alta: $k > 10^{-2}$ cm/s, alluvioni attuali e recenti del Torrente Morta e depositi alluvionali postglaciali
- II - Permeabilità medio-alta: $k = 10^{-4}$ cm/s ÷ 10^{-2} cm/s, depositi fluvio-glaciali delle unità quaternarie e rocce costituite dal Conglomerato di Sironè
- III - Permeabilità medio-bassa: $k = 10^{-5}$ cm/s ÷ 10^{-3} cm/s, depositi fluvio-glaciali delle unità quaternarie
- IV - Permeabilità medio-bassa: $k \leq 10^{-5}$ cm/s, depositi glaciali e postglaciali prevalentemente limoso-argillosi

Elementi idrogeologici

- Isopiezometrica, metri s.l.m.
- Isopiezometrica ipotizzata, metri s.l.m.

Potenziali elementi soggetti ad inquinamento

- Pozzo
- Sondaggio geognostico con stratigrafia

Elementi idrogeologici e idrografici

- Reticolo idrico superficiale

Carta idrogeologica - fig.6 e relativa legenda

Da tale elaborato cartografico emerge la presenza di un corpo idrico sotterraneo con soggiacenza crescente da Nord a Sud e direttrice di deflusso orientata da circa NW verso SE.

La profondità della superficie piezometrica risulta essere di circa 15 metri.

Tuttavia più superficialmente, entro pochi metri dal piano campagna, è inoltre localmente possibile una circolazione idrica, discontinua nel tempo e nello spazio, con formazione di falde sospese localizzate o di piccole falde in pressione contenute entro livelli maggiormente permeabili confinati a tetto e a letto da terreni argillosi.

Facendo riferimento ad altre indagini eseguite dallo scrivente in aree più vicine si forniscono altri dati relativi all'andamento della falda nel sottosuolo:

- zona di via Bronzetti sino al Cimitero Maggiore situata a 200 - 300 metri a Ovest di questa oggetto di studio, è stata rilevata la presenza di acqua sotterranea in piezometri ubicati in fori di sondaggio a profondità di circa 11 metri;
- zona Borgo Santa Caterina ,via Garbelli in fregio alla Roggia Serio,situata a meno di 100 metri ad Est, la falda risulta molto più superficiale situandosi a circa 2 metri di profondità.

Per quanto riguarda le caratteristiche di permeabilità dei terreni dalla cartografia allegata l'area suddivisa in una zona risulta situata su terreni di permeabilità medio bassa, come risulta dalla precedente figura 6.

7) LITOSTRATIGRAFIA DEL SOTTOSUOLO

Per una ricostruzione di massima della litostratigrafia del sottosuolo si fa riferimento alle indagini geognostiche, con esecuzione di sondaggi e prove penetrometriche dinamiche,

esperite dallo scrivente sui terreni delle aree precedentemente citate.

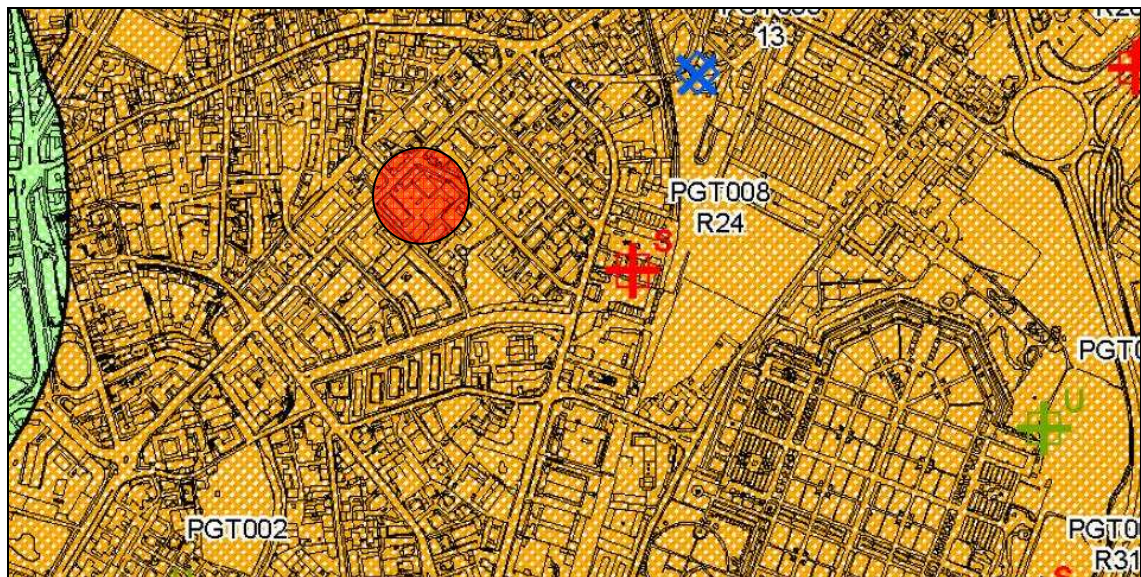
Su tale base risulta una sequenza di ghiaie sabbiose limose debolmente argillose di colore marrone a clasti variamente alterati e con grado di addensamento sciolto che si spingono sino a profondità di 10-12 metri nell'area del Cimitero Maggiore con presenza di orizzonti conglomeratici interstratificati a partire da circa 8 metri di profondità. Verso il quartiere di Borgo Santa Caterina è invece presente a partire da circa 5 metri di profondità un livello argilloso limoso plastico di moderata consistenza.

Solo oltre gli 9-12 metri di profondità si rileva un moderato incremento nei valori di resistenza mentre a profondità superiori ai 14-15 metri possono rilevarsi terreni addensati e/o cementati.

8) CONSIDERAZIONI SULLE CONDIZIONI DI INTERVENTO E FATTIBILITA'
GEOLOGICA

L'intervento in previsione prevede la realizzazione di due edifici residenziali direzionali, tutti di altezza 7 piani e con interrato.

La carta geotecnica della componente geologica del PGT colloca l'area, vedi la seguente figura 8, nella classe omogenea di terreno Gt3: depositi di versante di natura argilloso limosa con ghiaia e sabbia in % variabili e clasti di alterazione piuttosto variabili; angolo di attrito interno compreso fra 23° e 32°.



Classi di terreno con caratteristiche omogenee

- Rip: terreni di riporto accumulati durante l'urbanizzazione del colle della Città Alta; hanno caratteristiche geotecniche eterogenee di difficile valutazione.
- G1: argille e limi in vana percentuale con subordinate sabbia e ghiaia
Angolo di attrito 16° - 28°
Coesione: 0,1 - 0,2 kg/cm²
- G2: depositi alternici e colluviali di natura argilloso-limosa con subordinata sabbia e classi ad alterazione molto variabile.
Angolo di attrito: 23° - 30°
- G3: depositi di versante di natura argilloso-limosa con ghiaie e sabbie in percentuali variabili, classi con alterazione piuttosto variabile.
Angolo di attrito: 23° - 32°
- G4: depositi alluvionali e fluvioglaciali caratterizzati da terreni con forti eterogeneità lessaturale verticali e laterali. Alteranza di strati ghiaioso-sabbiosi e ghiaiosi, a volte privi di matrice, con strati limosi ed argillosi di spessore anche plurimetrico localmente superficiali.
Angolo di attrito: 30° - 35°
Coesione: 0 kg/cm²
- G5: depositi alluvionali e fluvioglaciali caratterizzati da terreni con una maggiore omogeneità lessaturale rispetto a quelli appartenenti alla classe G4. Alteranza di strati ghiaioso-sabbiosi e ghiaiosi, a volte privi di matrice, con strati limosi ed argillosi di spessore anche plurimetrico localmente superficiali.
Ghiaie e sabbie alterate
Angolo di attrito: 30° - 35°
Coesione: 0 kg/cm²
Strati conglomeratici
Angolo di attrito: > 35°
Coesione: 2 kg/cm²
RQD: 30 - 70 %
- Gm1: argilliti alterate a calcilutiti appartenenti all'unità delle Peliti Rosse. Caratteristiche geomeccaniche scadenti.
RQD: 0 - 50%
- Gm2: conglomerati, peliti, arenarie, marne, calcari ed alteranze marnoso calcaree. Rocce con caratteristiche geomeccaniche da discrete a buone.
Conglomerato
RQD: 30 - 90 %
Peliti ed arenarie
RQD: 10 - 90 %
Marni, calcari ed alteranze marnoso calcaree
RQD: 30 - 90 %

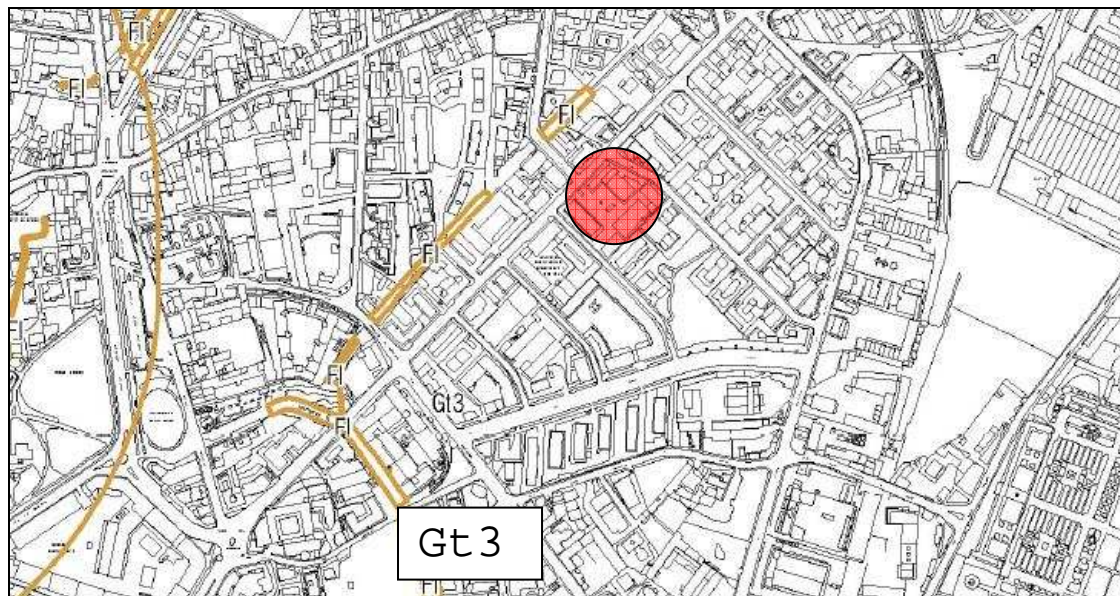
Indagini geognostiche

- Sondaggio geognostico con stratigrafia

Carta geotecnica - fig. 8 e relativa legenda

Nella carta di Sintesi l'area rientra in classe Gt3. Si allega

nella seguente figura 9 lo stralcio della carta di sintesi.



Area con consistenti disomogeneità tessiturali verticali e laterali; la capacità portante è da scarsa a buona ma molto variabile in spazi ristretto. La disomogeneità litologica è in parte dovuta alla presenza di "correnti d'acqua sotterranee" originate dall'infiltrazione di acqua dalle rogge.

Carta di sintesi - fig. 9 con relativa legenda

Per quanto riguarda la carta della "Fattibilità Geologica - SG14a" l'area in oggetto rientra in classe 3a:

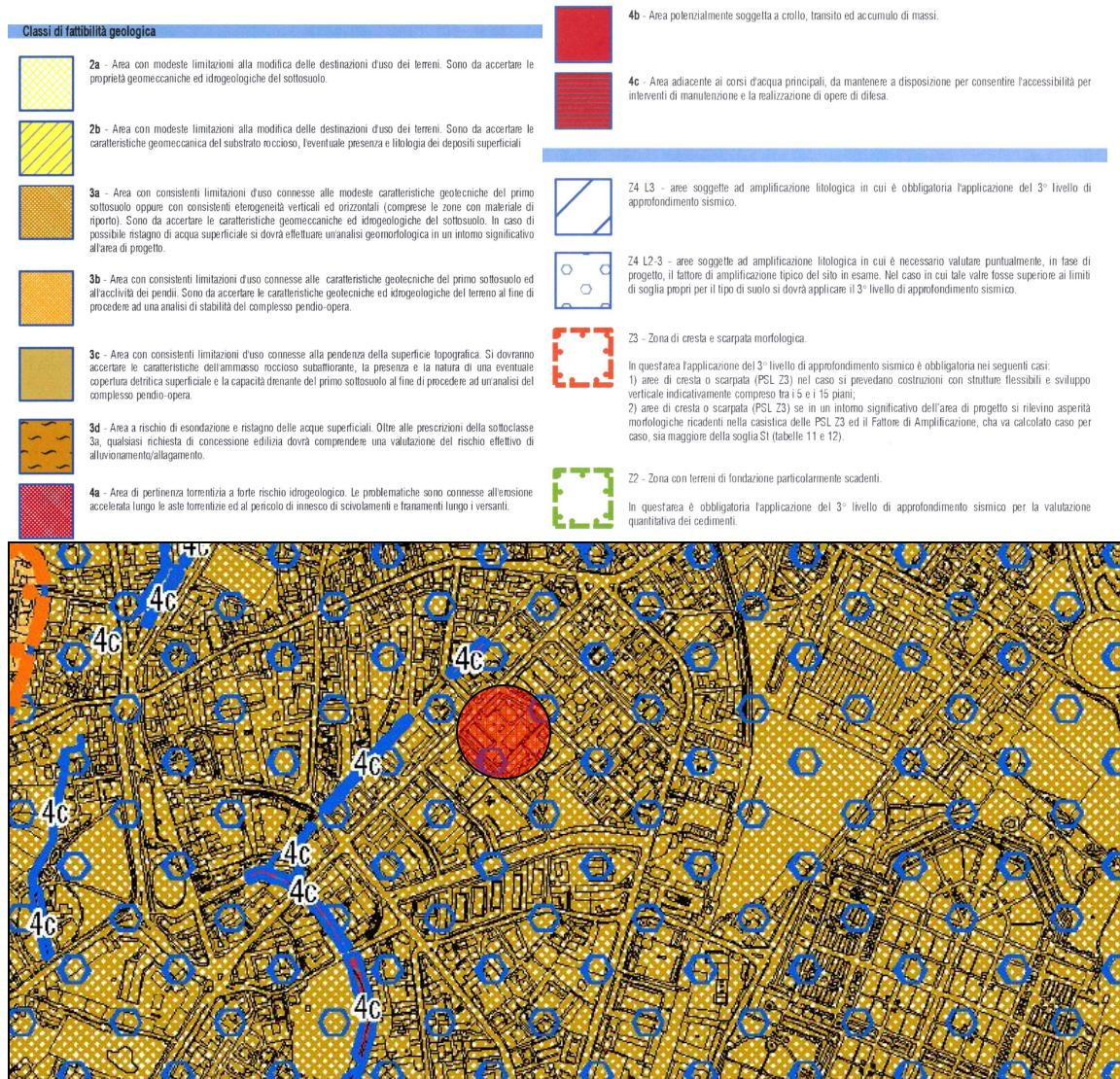
"area con consistenti limitazioni d'uso connesse alle modeste caratteristiche geotecniche del primo sottosuolo oppure con consistenti eterogeneità verticali ed orizzontali (comprese le zone con materiali di riporto) Sono da accertare le caratteristiche. In caso di possibile ristagno di acqua superficiale si dovrà effettuare una analisi geomorfologia in un intorno significativo dell'area di progetto"

La classificazione sismica definisce l'area come appartenente alla classe Z4 L2-L3:

"Aree soggette ad amplificazione litologica in cui è necessario valutare puntualmente, in fase di progetto, il fattore di amplificazione del sito in esame. Nel caso in cui tale valore fosse superiore ai limiti di soglia propri per

il tipo di suolo si dovrà applicare il 3° livello di approfondimento sismico”.

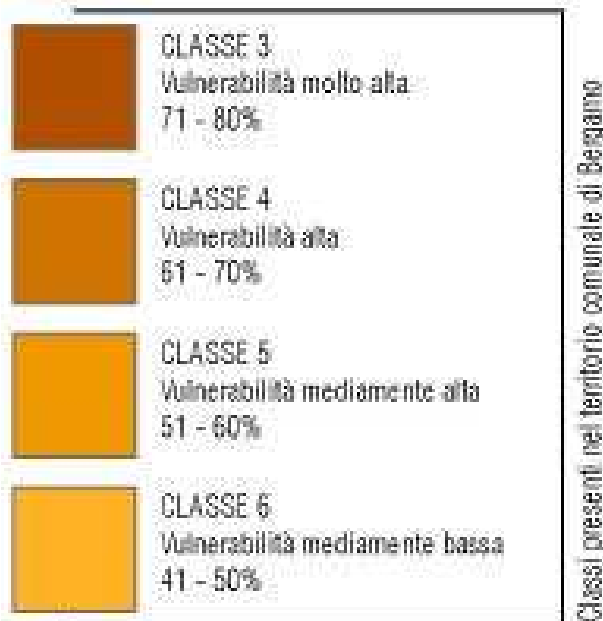
Si allega di seguito la carta in figura 10.



Carta della Fattibilità - fig.10 e relativa legenda

Per quanto riguarda il rischio di vulnerabilità l'area rientra nella classe 6 41% -50% mediamente bassa.

Si allega al proposito stralcio della relativa carta tratta dalla Componente Geologica del PGT.



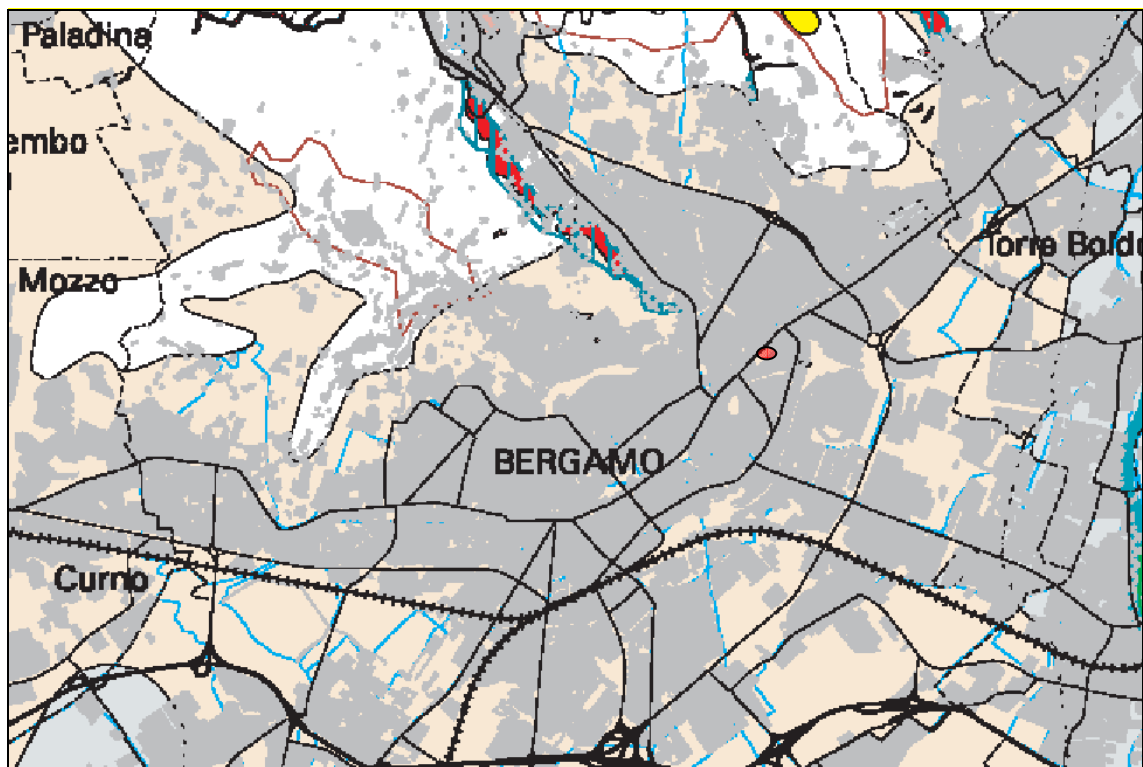
Carta della vulnerabilità - fig. 11

**9) VALUTAZIONE DELLA COMPATIBILITA' GEOLOGICA DELL'INTERVENTO
IN COERENZA CON LE PRESCRIZIONI DEL P.T.C.P.**

In relazione alla compatibilità degli interventi di trasformazione del territorio in base a quanto previsto dal **Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale;**

La carta "E1: Elementi di pericolosità e criticità", riportata in figura 11 assegna all'area di intervento la seguente classificazione:

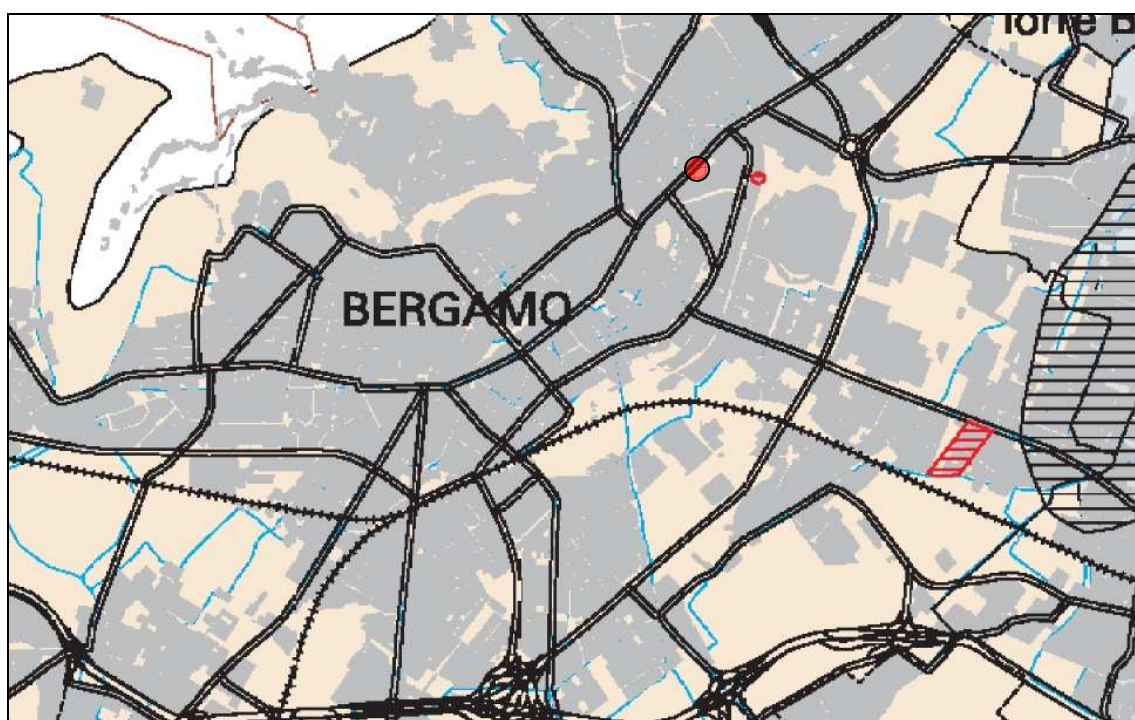
"Ambiti di pianura nei quali gli interventi di trasformazione territoriale devono mantenere come soglia minimale le condizioni geologiche ed idrauliche esistenti (art. 44)".



Carta PTCP - Fig. 12


Sempre dagli elaborati di studio allegati al PTCP sono

riportate nelle figure 13 e 14 gli stralci relativi agli elementi ed alle classi di criticità in ambito di pianura, dalle quali non si rilevano particolari limitazioni in merito alla possibilità di trasformazione dell'area in esame, trattandosi di aree a media vulnerabilità idrogeologica ed a media criticità.




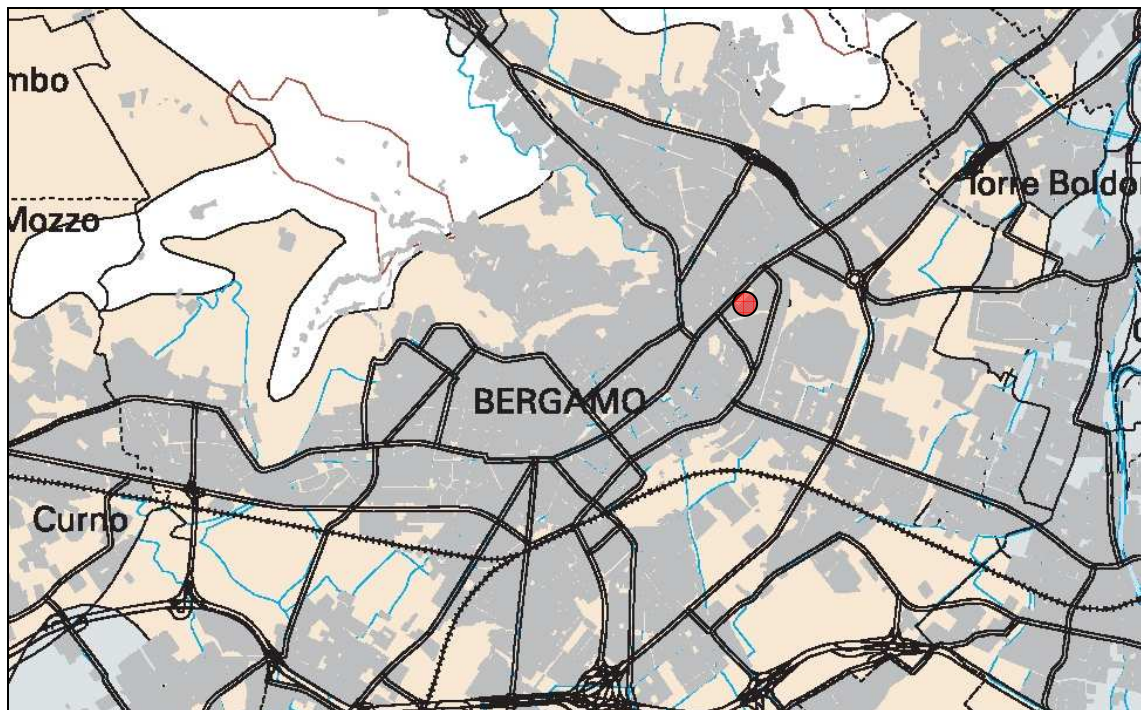
Carta PTCP - Fig. 13

**COMPONENTI NATURALI DI CRITICITA'
 VULNERABILITA' DELLA FALDA**

 vulnerabilità idrogeologica MEDIA

**COMPONENTI ANTROPICHE DI CRITICITA'
 SITI CONTAMINATI**

 aree destinate allo smaltimento dei rifiuti di vario tipo



Carta PTCP - Fig. 14

 classe a MEDIA criticità
(siti a vulnerabilità idrogeologica media)

Si ritiene, sulla base di quanto precedentemente relazionato, che l'intervento in progetto possa essere considerato conforme alle previsioni contenute nella tavola E1.1 (suolo e acque - Elementi di pericolosità e criticità: compatibilità degli interventi di trasformazione del territorio.

10) ANALISI SISMICA

L'analisi di pericolosità sismica prevede tre livelli di indagine che sono tra loro consequenziali.

Il primo livello, obbligatorio per tutti i comuni, deve essere eseguito in fase di pianificazione comunale e il metodo permette di individuare le zone dove i diversi effetti prodotti dall'azione sismica possono essere prevedibili sulla scorta dei dati bibliografici e di rilievo geologico e geomorfologico (si veda la tabella sottostante).

<i>Sigla</i>	<i>SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE</i>	<i>EFFETTI</i>
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale)	Cedimenti e/o liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (scarpata con parete subverticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	

Z4a	Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico - meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

Da questa prima analisi, per l'area in esame è stato individuato un unico scenario di pericolosità sismica locale **Z4 L2-3 (come risulta dalla Figura 10 - Carta della fattibilità geologica)** in quanto presenti depositi fluvioglaciali granulari e/o coesivi.

Il secondo livello è obbligatorio in fase di pianificazione per i comuni ricadenti in zona sismica 2-3 per le zone individuate nel primo livello come zone PSL Z3 e Z4, mentre per i comuni ricadenti in zona sismica 4 solo nel caso in cui si prevedano edifici strategici e rilevanti.

Con l'analisi di secondo livello, mediante un metodo semiquantitativo si approfondisce l'analisi sismica del sito che porterà a definire un fattore di amplificazione (Fa) che potrà essere minore o maggiore del valore soglia attribuito al comune. Nel caso in cui il fattore di amplificazione sia minore del valore soglia, la norma è in grado di tenere conto dei fenomeni di amplificazione attesi, mentre qualora il fattore di

amplificazione fosse superiore al valore soglia sarebbe necessario eseguire l'analisi di 3° livello perché la norma non è sufficientemente cautelativa.

L'analisi di terzo livello si esegue in fase progettuale quando con il secondo livello il valore di F_a calcolato supera il valore di soglia comunale e nella aree PSL Z1-Z2-Z3.

In realtà la normativa nazionale prevede anche la possibilità di non eseguire l'analisi di secondo livello o di terzo livello applicando direttamente gli spettri di risposta elastici previsti dalla zona sismica superiore.

Secondo la normativa sismica del 1988/1996 il comune di Bergamo risulta classificato in zona 3 e pertanto si è proceduto ad una analisi sismica puntuale in sito di II° livello.

Allo scopo è stata eseguita una prospezione sismiche M.A.S.W. nella zona oggetto di intervento al fine di ottenere i corretti fattori di amplificazione.

DESCRIZIONE GENERALE DELLA PROCEDURA MASW

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa proprietà si chiama dispersione.

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (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 (V_s), 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. Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidità superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici.

L'intero processo comprende tre passi successivi: l'acquisizione delle onde superficiali (ground roll), la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) e l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle V_s .

Per ottenere un profilo V_s 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.

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati.

Dei valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità sono necessari per ottenere il profilo verticale V_s dalla curva di dispersione e vengono solitamente stimati utilizzando misure prese in loco o valutando le tipologie dei materiali.

Quando si generano le onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh vengono generate anche una molteplicità di tipi diversi di onde. Fra queste le onde di corpo, le onde superficiali non piane, le onde riverberate (back scattered) dalle disomogeneità superficiali, il rumore ambientale e quello

imputabile alle attività umane.

Le onde di corpo sono in vario modo riconoscibili in un sismogramma multicanale. Quelle rifratte e riflesse sono il risultato dell'interazione fra le onde e l'impedenza acustica (il contrasto di velocità) e fra le superfici di discontinuità, mentre le onde di corpo dirette viaggiano, come è implicito nel nome, direttamente dalla sorgente ai ricevitori (geofoni).

Le onde che si propagano a breve distanza dalla sorgente sono sempre onde superficiali. Queste onde, in prossimità della sorgente, seguono un complicato comportamento non lineare e non possono essere trattate come onde piane.

Le onde superficiali riverberate (back scattered) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali quali fondazioni e muri di contenimento. Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente. Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno.

La scomposizione di un campo di onde registrate in un formato a frequenza variabile consente l'identificazione della maggior parte del rumore, analizzando la fase e la frequenza indipendentemente dalla distanza dalla sorgente. La scomposizione può essere quindi utilizzata in associazione con la registrazione multicanale per minimizzare il rumore durante l'acquisizione. La scelta dei parametri di elaborazione così come del miglior intervallo di frequenza per il calcolo della velocità di fase, può essere fatto con maggior accuratezza utilizzando dei sismogrammi multicanale. Una volta scomposto il sismogramma, una opportuna misura di coerenza applicata nel tempo e nel dominio della frequenza può essere utilizzata per

calcolare la velocità di fase rispetto alla frequenza.

La velocità di fase e la frequenza sono le due variabili (x ; y) il cui legame costituisce la curva di dispersione. E' anche possibile determinare l'accuratezza del calcolo della curva di dispersione analizzando la pendenza lineare di ciascuna componente di frequenza delle onde superficiali in un singolo sismogramma. In questo caso MASW permette la miglior registrazione e separazione ad ampia banda ed elevati rapporti S/N. Un buon rapporto S/N assicura accuratezza nel calcolo della curva di dispersione, mentre l'ampiezza di banda migliora la risoluzione e la possibile profondità di indagine del profilo V_s di inversione.

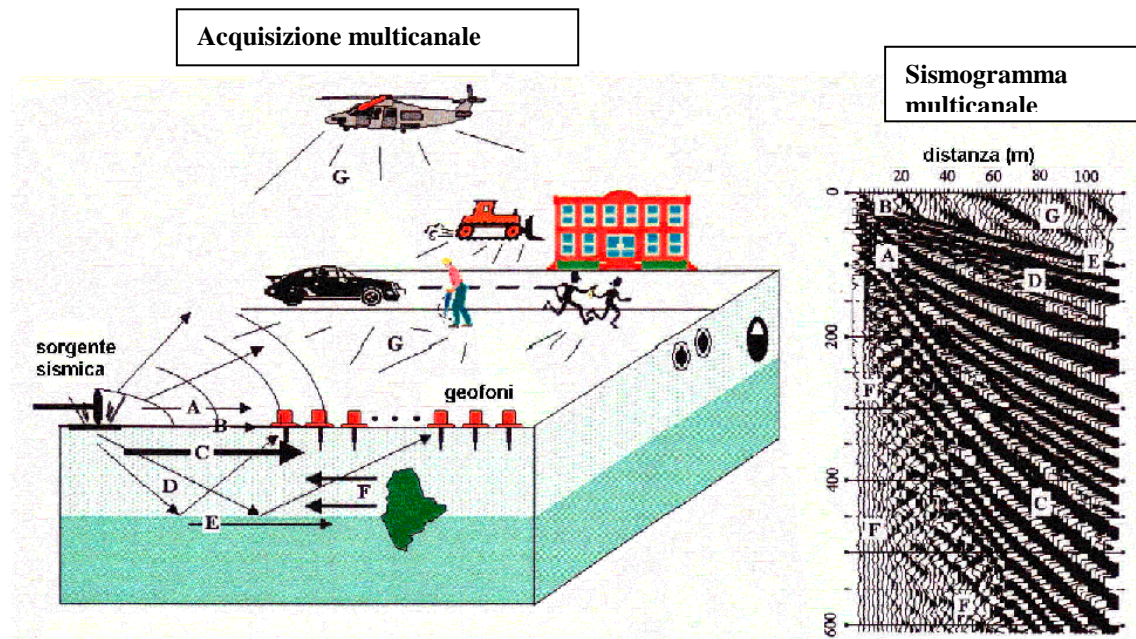
Le onde di superficie sono facilmente generate da una sorgente sismica quale, ad esempio, una mazza battente. La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a riflessione (CMP). Però alcune regole operative per MASW sono incompatibili con l'ottimizzazione della riflessione. Questa similitudine permette di ottenere, con la procedura MASW, delle sezioni superficiali di velocità che possono essere utilizzate per accurate correzioni statiche dei profili a riflessione. MASW può essere efficace con anche solo dodici canali di registrazione, meglio a ventiquattro canali, collegati a geofoni singoli a bassa frequenza (<10Hz).

Per quanto riguarda le proprietà di dispersione delle onde di superficie: 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 strumentazione utilizzata per la acquisizione dei dati è costituita da:

- Un sismografo Sara Electronic Instruments a 24 canali;
- 24 geofoni a 4.5 Hz;
- Una mazza da 6 Kg con relativa piastra di battuta.



A: onde in aria

E: onde rifratte

B: onde dirette

F: onde riverberate

C: onde di superficie

G: rumore ambientale

D: onde riflesse

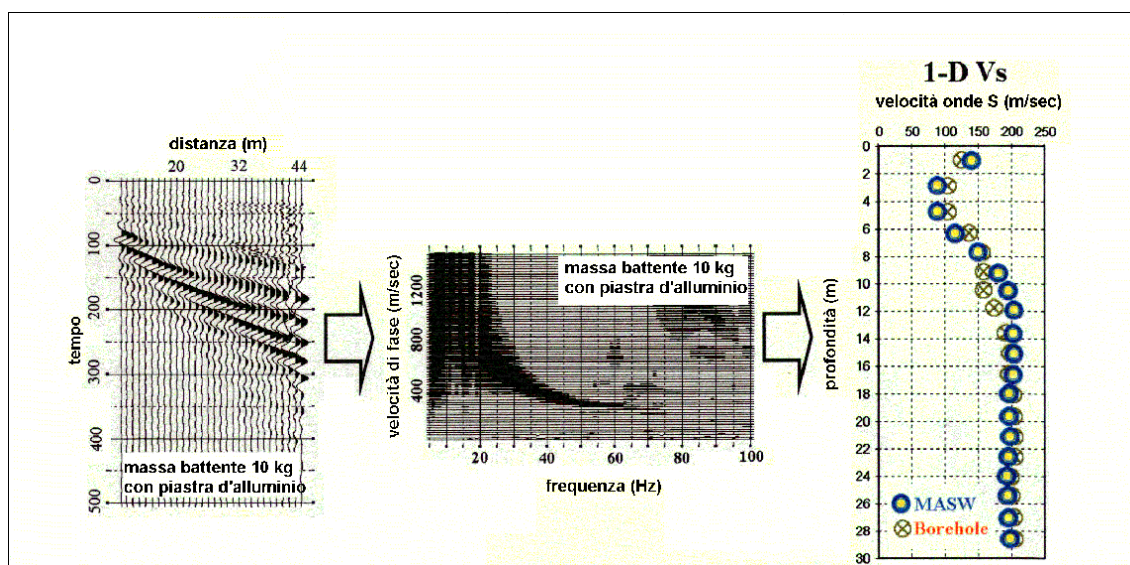
VANTAGGI DELLA REGISTRAZIONE MULTICANALE - fig.15

Il principale vantaggio di un metodo di registrazione multicanale è la capacità di riconoscimento dei diversi comportamenti, che consente di identificare ed estrarre il segnale utile dall'insieme di varie e differenti tipi di onde

sismiche. Quando un impatto è applicato sulla superficie del terreno tutte queste onde vengono simultaneamente generate con differenti proprietà di attenuazione, velocità e contenuti spettrali. Queste proprietà sono individualmente identificabili in una registrazione multicanale e lo stadio successivo del processo fornisce grande versatilità nell'estrazione delle informazioni utili.

La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

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



RISULTATI SCHEMATICI DELL'INDAGINE - fig. 16

In tabulato di figura 17 sono riportati i risultati della indagine MASW. Nel report riassuntivo si osservano: la curva di dispersione (sperimentale e teorica), la stratigrafia delle V_s ricavata dalla prova, lo spettro f-k ed il sismogramma ottenuto in campagna. Il parametro V_{s30} è ottenuto dalla seguente formula:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove h_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (m/s) dello strato i - esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

Il sito verrà quindi classificato sulla base del valore di V_{s30} come riportato nella tabella seguente.

A	<i>Ammassi rocciosi o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreno a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, 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 (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $C_{u,30} > 250$ KPa nei terreni a grana fine)
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < C_{u,30} < 250$ KPa nei terreni a grana fina)
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $C_{u,30} < 70$ KPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).</i>

Dall' indagine eseguita sono risultati i seguenti valori nell' intervallo di profondità preso in esame (3.5 - 33.5):

$$V_{S30} \text{ (da 3.5 a 33.5 m da p.c.)} = 472.2 \text{ m/s}$$

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO "B"

Si veda in allegato n° 1 la planimetria con ubicazione dello stendi mento MASW ed in allegato n°2 il relativo tabulato di elaborazione

ANALISI SISMICA DI II° LIVELLO

Sulla base dei risultati ottenuti dalle prospezioni sismiche M.A.S.W. è stato possibile calcolare il valore del Fattore di Amplificazione (**Fa**) atteso per l'area in esame.

Tale valore è stato utilizzato per valutare il grado di protezione raggiunto al sito dall'applicazione della normativa sismica vigente. La valutazione del grado di protezione viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando il valore di Fa ottenuto dalle schede di valutazione con un parametro di analogo significato calcolato per ciascun comune e valido per ciascuna zona sismica (zona 2, 3 e 4) e per le diverse categorie di suolo soggette ad amplificazioni litologiche (B, C, D ed E) e per i due intervalli di periodo 0.1-0.5s (relativo a strutture basse, regolari e piuttosto rigide) e 0.5-1.5s (per strutture alte e più flessibili).

Il parametro calcolato per ciascun Comune della Regione Lombardia è riportato nella banca dati on line della Regione Lombardia e rappresenta il valore di soglia oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione del sito.

La procedura prevede pertanto di valutare il valore di Fa con le

schede di valutazione e di confrontarlo con il corrispondente valore di soglia, considerando una variabilità di ± 0.1 che tiene conto della variabilità del valore di F_a ottenuto dalla procedura semplificata.

Per il comune di Bergamo (zona sismica 3) e con un suolo in Classe B (determinato con la prospezione MASW) i valori di F_a soglia risultano:

$$F_a (0.1-0.5 \text{ s}) = 1.5$$

$$F_a (0.5-1.5 \text{ s}) = 1.7$$

Per procedere con il calcolo del valore di F_a per il sito in esame si è scelto di applicare, tra quelle disponibili, la scheda litologica sabbiosa in quanto unica tra quelle disponibili per la quale l'andamento delle V_s risulta compatibile.

All'interno della suddetta scheda litologica si è scelta, in funzione della profondità e della velocità V_s dello strato superficiale, la curva n° 2 per la valutazione del valore di F_a nell'intervallo 0.1-0.5 s e nell'intervallo 0.5-1.5 s, in base al valore del periodo proprio del sito T .

Il periodo proprio del sito T necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione è stato calcolato considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità V_s uguale o superiore a 800 m/s utilizzando la seguente

equazione:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

Nel caso in esame con l'indagine Masw non è stata raggiunta la velocità di 800 m/s ed è stato quindi estrapolato un opportuno andamento delle Vs con la profondità fino al raggiungimento dello stesso che è stato valutato a circa 50 m da p.c.

E' stato prolungato l'ultimo strato rilevato fino alla profondità di 34.0 m e sono stati aggiunti tre ulteriori sismostrati corrispondenti a punti della retta che mostra il trend lineare di estrapolazione completando nel modo seguente la tabella profondità-Vs:

Profondità (m)	Vs (m/s)
1.5	233
5	381
9	422
14	461
22	499
34	495
40	620
46	680
50	750

I valori di T e di Fa così determinati vengono approssimati alla prima cifra decimale e risultano:

$$T = 0.34 \text{ s}$$

$$Fa (0.1-0.5s) = 1.7$$

$$Fa (0.5-1.5s) = 1.5$$

Il fattore di amplificazione soglia risulta superato nel periodo 0.1 - 0.5s (strutture relativamente basse, regolari, rigide) per le quali andranno quindi applicati gli spettri della categoria di suolo inferiore (CATEGORIA DI SOTTOSUOLO "C") od in alternativa andrà effettuata una analisi di 3° livello. Il fattore di amplificazione risulta invece inferiore al valore

soglia nel periodo 0.5-1.5s (strutture alte e flessibili, oltre i 5/6 piani: il caso in esame) per le quali risulta **confermata la categoria di suolo B.**

11) SPECIFICHE COSTRUTTIVE DI MASSIMA E DEFINIZIONE PUNTUALE DEI SUPPLEMENTI DI INDAGINE

Sulla base di quanto precedentemente relazionato si danno le seguenti indicazioni di massima sulle relativamente alle specifiche costruttive degli interventi edificatori in funzione delle problematiche rilevate per il sito oggetto della presente relazione.

Non sussistendo fenomeni di dissesto in atto o prevedibili non risultano necessarie opere di mitigazione del rischio.

Essendo presenti terreni con caratteristiche di consistenza da poco a moderate, quindi potenzialmente inadatti a ricevere carichi rilevanti e concentrati si dovranno prevedere fondazioni estese e rigide tipo platee nervate o travi reticolari od in alternativa i carichi andranno trasferiti in profondità oltre i circa 15 metri mediante pali di tipologia da definire sulla base di una approfondita indagine geognostica e relativa relazione geotecnica ed in funzione dei carichi trasmessi dalle strutture in elevazione.

Per quanto riguarda le strutture interrato esse potrebbero, interessare le falde superficiali precedentemente descritte, di cui si dovrà determinare con accuratezza presenza e modalità di circolazione al fine di progettare nella eventualità adeguati interventi di impermeabilizzazione e/o drenaggio. Andranno ben valutate le condizioni al contorno in presenza di terreni poco consistenti determinando gli opportuni angoli delle scarpate di scavo. Gli scavi in prossimità di edifici o strade dovranno essere adeguatamente contrastati con opere di contenimento

realizzate preliminarmente agli stessi quali paratie o berlinesi anche tirantate.

Viene prescritto di realizzare approfondimenti geognostici necessari per la caratterizzazione puntuale dei parametri geotecnici del sottosuolo, nonché della situazione idrogeologica.

Al proposito si dovranno eseguire sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti a profondità indicativa di almeno 20 metri con prove SPT in foro ogni 2 - 3 metri, con prelievo di campioni indisturbati ove presenti terreni coerenti o pseudocoerenti da sottoporre ad analisi di laboratorio quali determinazioni di volume, granulometria, limiti di Atterberg, prove di compressibilità ad espansione laterale libera, edometriche. In foro si potranno posizionare piezometri al fine di monitorare la presenza di acqua sotterranea. Si ritiene necessario almeno un sondaggio geognostico per edificio.

Dovranno inoltre eseguirsi prove penetrometriche dinamiche o statiche in funzione della granulometria e natura dei terreni; si ritengono necessarie da 4 a 8 prove penetrometriche complessive.

12) CONCLUSIONI

Il presente studio ha permesso di verificare la compatibilità geologica della destinazione d'uso del territorio relativamente agli interventi edilizi previsti nel Piano Attuativo UMI 1 ambito AT e/i/s5 ex Caserma Li Gobbi in comune di Bergamo, sia in termini di pericolosità geologica intrinseca per processi geodinamici interni (sismicità) ed esterni (stabilità del pendio, processi geomorfici in atto, ecc.) definendo in modo puntuale i supplementi di indagine geognostica da attuarsi in fase esecutiva in relazione alla Classe di Fattibilità 3 con

Appendice n° 1

UBICAZIONE INDAGINE SISMICA M.A.S.W.

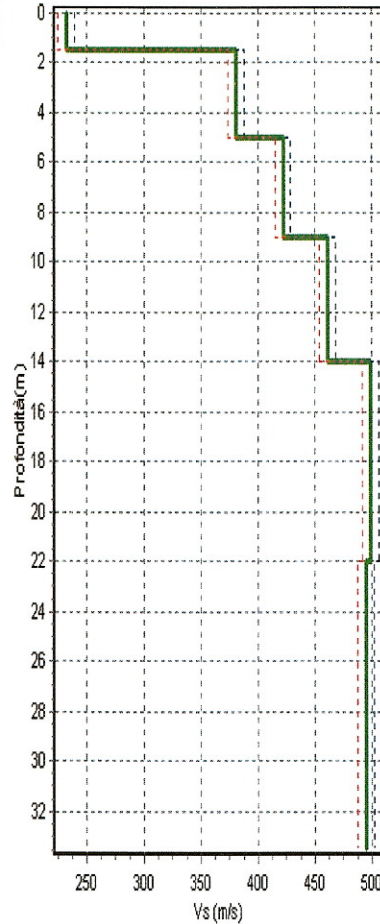
consistenti limitazioni attribuita all'area dallo Studio geologico, idrogeologico e sismico del PGT, nonché attuando la prescritta verifica di 2° livello del valore di soglia ed eventuale approfondimento sismico in relazione alla classe di pericolosità sismica Z4 L2-3 "aree soggette ad amplificazione litologica" attribuita al sito dallo stesso Studio, determinando la relativa categoria di sottosuolo.

Si ritiene di avere ottemperato sia alle prescrizioni dello Studio Geologico redatto per il PGT che in termini di normativa nazionale: Nuove norme tecniche per le costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008).

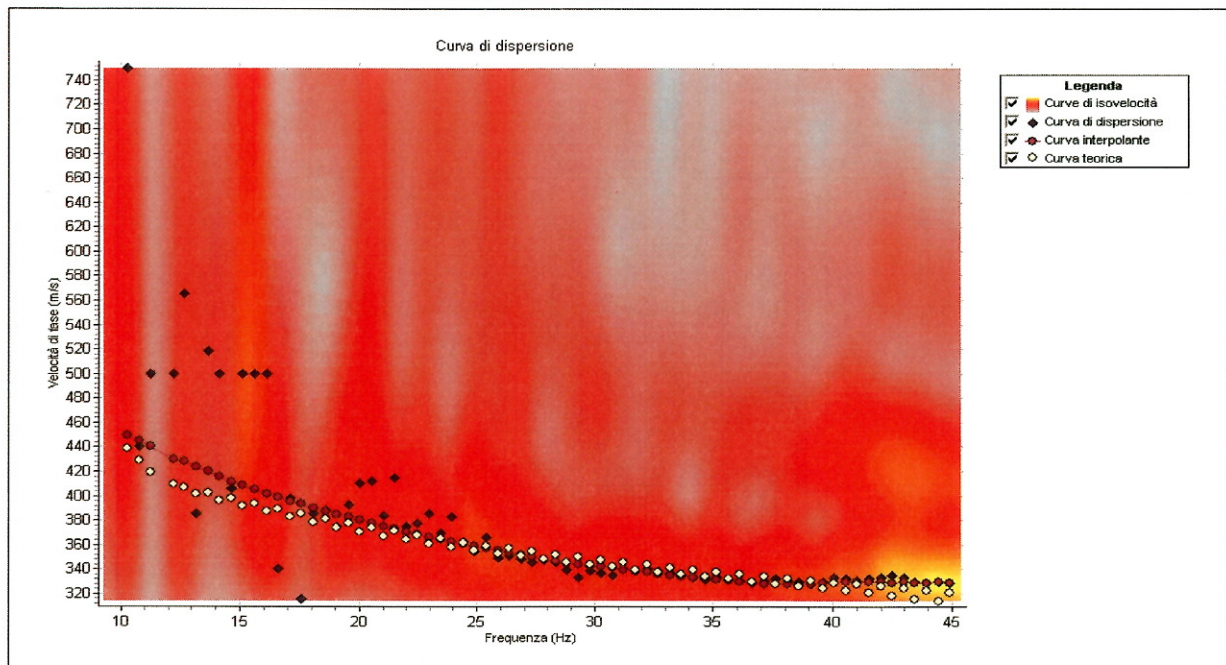
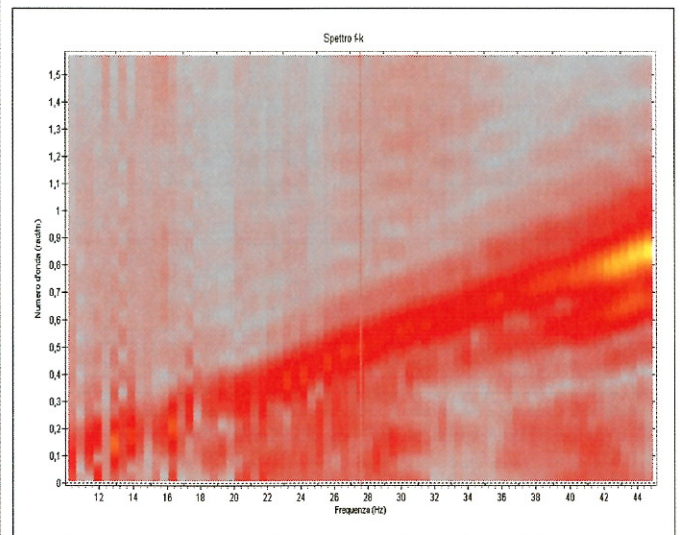
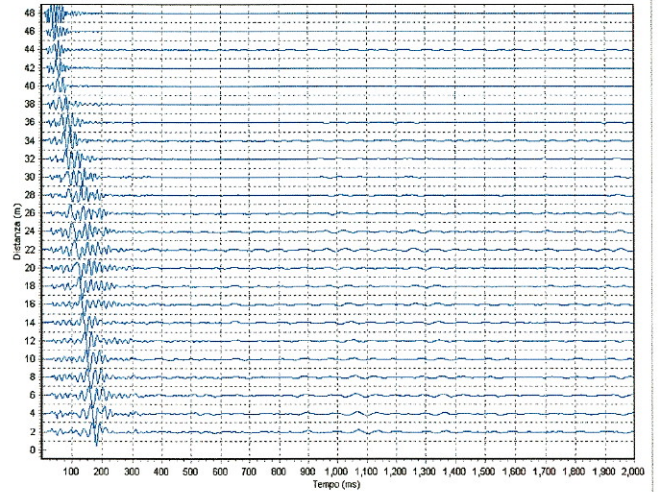


Riassunto interpretazione MASW Bergamo - Via Suardi

Prof. (m)	Vs (m/s)	
1	1,5	233,0
2	5,0	381,0
3	9,0	422,0
4	14,0	461,0
5	22,0	499,0
6	33,5	495,0
7	-	-
8	-	-
9	-	-
10	-	-
11	-	-
12	-	-
13	-	-
14	-	-
15	-	-
16	-	-
17	-	-
18	-	-
19	-	-
20	-	-
21	-	-
22	-	-
23	-	-
24	-	-
25	-	-
26	-	-
27	-	-
28	-	-
29	-	-
30	-	-



Classe sito: B - Vs30 (m/s) = 472,2



Appendice n° 2

REPORT INDAGINE SISMICA M.A.S.W.

Ubicazione indagini geognostiche effettuate

— Tracciato stendimento geosismico M.A.S.W.

