

EX CANOSSIANE- S.TOMASO		tavola	
Recupero a fini abitativi di un antico complesso nel borgo S. Tomaso e ampliamento del Parco Suardi		E	
PIANO DI RECUPERO ai sensi art. 27 L. 457/78 Ambito di P.G.T. At_i/s4		protocollo n. M.15.06	scala
RELAZIONE GEOLOGICA		aggiornamenti 1	data 18 luglio 2016
progettisti arch. Pippo Traversi T+T ARCHITETTI Bergamo - via Locatelli, 23 tel. 035-222436 tel. 035-222436 e-mail studio@traversietraversi.it	committente: Immobiliare PASSARELLA S.r.l Milano - Via Marina 3, 24121	2	orientamento
		3	
		4	
		5	
		6	
		7	
		8	



PROVINCIA: BERGAMO

COMUNE: BERGAMO

LOCALITA: Via San Tomaso

COMMITTENTE: Passarella srl

OGGETTO: Piano Attuativo di Intervento per nuovo comparto urbano prospiciente la via San Tomaso "Complesso ex Canossiane"

**RELAZIONE DI COMPATIBILITA' GEOLOGICA
DELLA DESTINAZIONE D'USO DEL TERRITORIO**

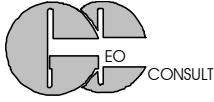
DATA: MARZO 2011

INDICE

1) PREMESSA	Pag. 2
2) INQUADRAMENTO TERRITORIALE	Pag. 2
3) INQUADRAMENTO GEOLOGICO	Pag. 3
4) INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO E IDROLOGICO	Pag. 7
5) CONSIDERAZIONI PRELIMINARI SULLE CONDIZIONI DI INTERVENTO	Pag. 11
6) VINCOLI E FATTIBILITA' GEOLOGICA	Pag. 15
7) NORMATIVA SISMICA	Pag. 20
8) VALUTAZIONE DELLA COMPATIBILITA' GEOLOGICA DELL'INTERVENTO IN COERENZA CON LE PRESCRIZIONI DEL P.T.C.P.	Pag. 33
9) CONCLUSIONI	Pag. 36

FIGURE:

fig. n°	oggetto	scala
1	CARTA GEOLOGICA COMUNE DI BERGAMO	1:10.000
2	CARTA GEOLOGICA DELLA PROVINCIA DI BERGAMO	1:25.000
3	STRATIGRAFIA SONDAGGIO	
4	CARTA IDROGEOLOGICA	1:20.000
5	CARTA GEOTECNICA	
6	CARTA DI SINTESI	
7	CARTA DEI VINCOLI	
8	CARTA DELLA FATTIBILITA' GEOLOGICA	
9	STRALCIO CARTA E1 - ELEMENTI DI PERICOLOSITA' E CRITICA	
10-11	STRALCIO RELATIVO A ELEMENTI E CLASSI DI CRITICITA' IN AMBITO DI PIANURA	
12-13	STENDIMENTI MASW	



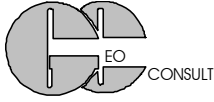
1) PREMESSA

Lo scrivente è stato incaricato di svolgere uno studio di verifica della compatibilità geologica della destinazione d'uso del territorio relativamente ad un intervento edilizio riguardante la riconversione di un'area scolastica dismessa "ex Complesso Canossiane" ad edilizia residenziale di Bergamo in area prospiciente la Via San Tommaso sino a confine con il Parco Suardi.

Viene valutata la compatibilità dell'intervento in coerenza con quanto previsto dal cap. 6.12.1 delle Nuove Norme Tecniche Per Le Costruzioni D.M. del 14 gennaio 2011 che prescrive per nuovi insediamenti urbani su ampie superfici uno studio geologico preliminare al fine di accertare destinazione d'uso compatibile del territorio in esame.

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 i limiti imposti al progetto.

Essendo il Comune di Bergamo dotato di uno studio della Componente geologica del PGT di recentissima realizzazione vengono prese in esame e verificate le risultanze e le eventuali prescrizioni contenute in tale studio e quelle del PTCP provinciale. 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.



Si fa presente che le condizioni di intervento dovranno essere puntualmente verificate in fase successiva con una specifica relazione geotecnica ai sensi delle normative vigenti.

2) INQUADRAMENTO TERRITORIALE

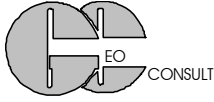
L'area di intervento è ubicata nel settore NE dell'abitato di Bergamo, nell'ambito di un'area caratterizzata da una moderata pendenza verso SE.

L'area si inserisce in un nucleo storico del comune di Bergamo e si affaccia su di una area ad orti e parchi, confinando a Sud con il Parco Suardi e la Roggia Nuova.

3) INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Occorre premettere che nell'ambito dell'area oggetto di studio non sono presenti affioramenti; pertanto in questa fase preliminare in mancanza di specifiche indagini geognostiche lo scrivente deve fare riferimento a notizie bibliografiche ed a propria esperienza in siti vicini. Si tenga comunque presente che la particolare localizzazione del sito rende difficile fare interpretazioni stratigrafiche indirette come del resto si vedrà sulla base dei dati raccolti non propriamente concordanti.

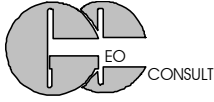
Si allegano rispettivamente in figura 1 ed in figura 2 la Carta Geologica del Comune di Bergamo redatta dalla Università degli studi di Milano - Istituto di Geologia dal professor Gelati ed altri a scala 1:10000 con indicata la giacitura di affioramenti rocciosi presenti nelle vicinanze dell'area in oggetto e la Carta Geologica 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 coincide pressoché con quest'ultima.

Su ambedue le carte geologiche viene cartografato il substrato roccioso affiorante nella parte alta dell'area su via San Tommaso. Questa ricostruzione pare attendibile considerato il riscontro effettivo della presenza dei litotipi della Formazione del Flysch di Bergamo negli interrati degli edifici su via Pignolo nei pressi della piazza del Delfino. La Formazione del Flysch di Bergamo del Campaniano Santoniano si presenta come una unità litologicamente non omogenea contenendo localmente estese intercalazioni di livelli calcarei e conglomeratici anche con spessori importanti. La carta geologica segnala ad interessare l'area di studio nella parte settentrionale un esteso banco riferibile al conglomerato di Sirone costituito da conglomerati anche massivi e compatti.

In generale la Formazione del Flysch di Bergamo è costituita da calcareniti grigio nocciola, arenarie grigie, micacee, ben stratificate, associate a marne grigio-giallastre, talora ad argilliti o siltiti in sequenze ritmicamente ripetute anche di spessore di solo qualche decimetro. Per quanto riguarda l'assetto strutturale risulta dalla Carta Geologica della Provincia di Bergamo che il sito è prossimo ad una sinclinale con piano assiale fortemente inclinato che si sviluppa a SW. Le giaciture indicate in carta indicano in generale una giacitura a sud-sud ovest con inclinazione media degli strati circa 30°; tuttavia sono noti e frequenti ripiegamenti degli stessi anche a piccola scala, riferibili ad intensi fenomeni plicativi che possono quindi avere notevolmente fratturato l'ammasso roccioso. Anche la prospezione geofisica rileva valori tutto sommato modesti della Vs30 riferibile all'ammasso roccioso con valori inferiori ai 400 m/sec.



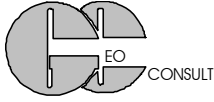
Mentre la Carta Geologica della Provincia ,ripresa da quella dello studio geologico del PGT, rileva su pressoché tutta l'area di intervento la presenza del substrato roccioso, la Carta Geologica redatta da professor Gelati cartografa su buona parte dell'area depositi colluviali che a parere dello scrivente costituiscono i terreni affioranti; questa ipotesi è suffragata anche dal riscontro avuto da un sondaggio geognostico eseguito per un parcheggio interrato presso il Museo d'Arte Contemporanea eseguito dallo scrivente e di cui si allega la relativa stratigrafia in fig. 3. Questi terreni sono dovuti al disfacimento chimico fisico del substrato roccioso e risultano costituiti da argille e limi sabbiosi marroni rossastri con screziature grigio giallastre e contengono clasti residuali. Lo spessore,ovviamente nel punto di indagine del sondaggio eseguito ,collocato ai piedi della collina , è risultato di oltre 10 metri per poi passare a ghiaie sabbiose limose grigie la cui presenza è stata rilevata sino ai 12 metri di profondità conseguiti con il sondaggio stesso.

Studi recenti (Carta Geologica della Provincia di Bergamo a scala 1: 50.000) collocano tali depositi nell'ambito del Complesso di Palazzago; Si tratta di una unità di nuova istituzione che raggruppa diverse unità (depositi alluvionali, colluviali, di conoide).

Tale complesso affiora in corrispondenza del raccordo prealpina pianura e delle valli minori che lo incidono.

I depositi colluviali 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. Le ghiaie sabbioso limose rinvenute nel sondaggio citato oltre i 10 metri di profondità potrebbero essere riferite a questi depositi di origine fluvioglaciale.



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; il comune di Bergamo si inserisce in particolare nell'ambito dell' "UNITA' DI TORRE BOLDONE)" - (Pleistocene medio).

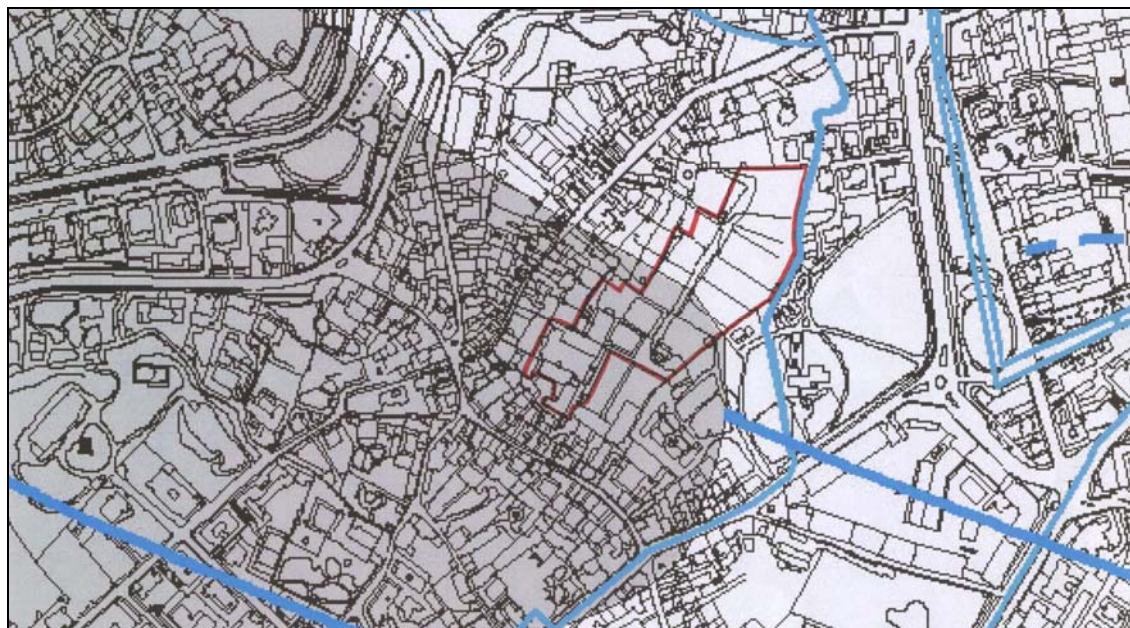
Tale unità, appartenente al complesso di Ponte della Selva, è stata indicata dagli autori precedenti come Fluvioglaciale ghiaioso ad argille arancio in tutta la massa -Diluvium medio, Fluvioglaciale Riss. Risulta costituita da depositi fluvioglaciali con ghiaie poligeniche pedogenizzate a supporto di 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.

Per quanto riguarda gli aspetti geomorfologici lo studio geologico del PGT nella specifica cartografia non rileva processi geomorfici in atto né evidenze di instabilità del versante si sono rilevate nella ricognizione del sito.

4) INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO ed IDROGRAFICO

L'area in esame si colloca in un settore pedecollinare 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 delle Unità di Valtesse (Diluvium antico) e 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° 4, tratta dallo studio geologico del PGT di Bergamo.



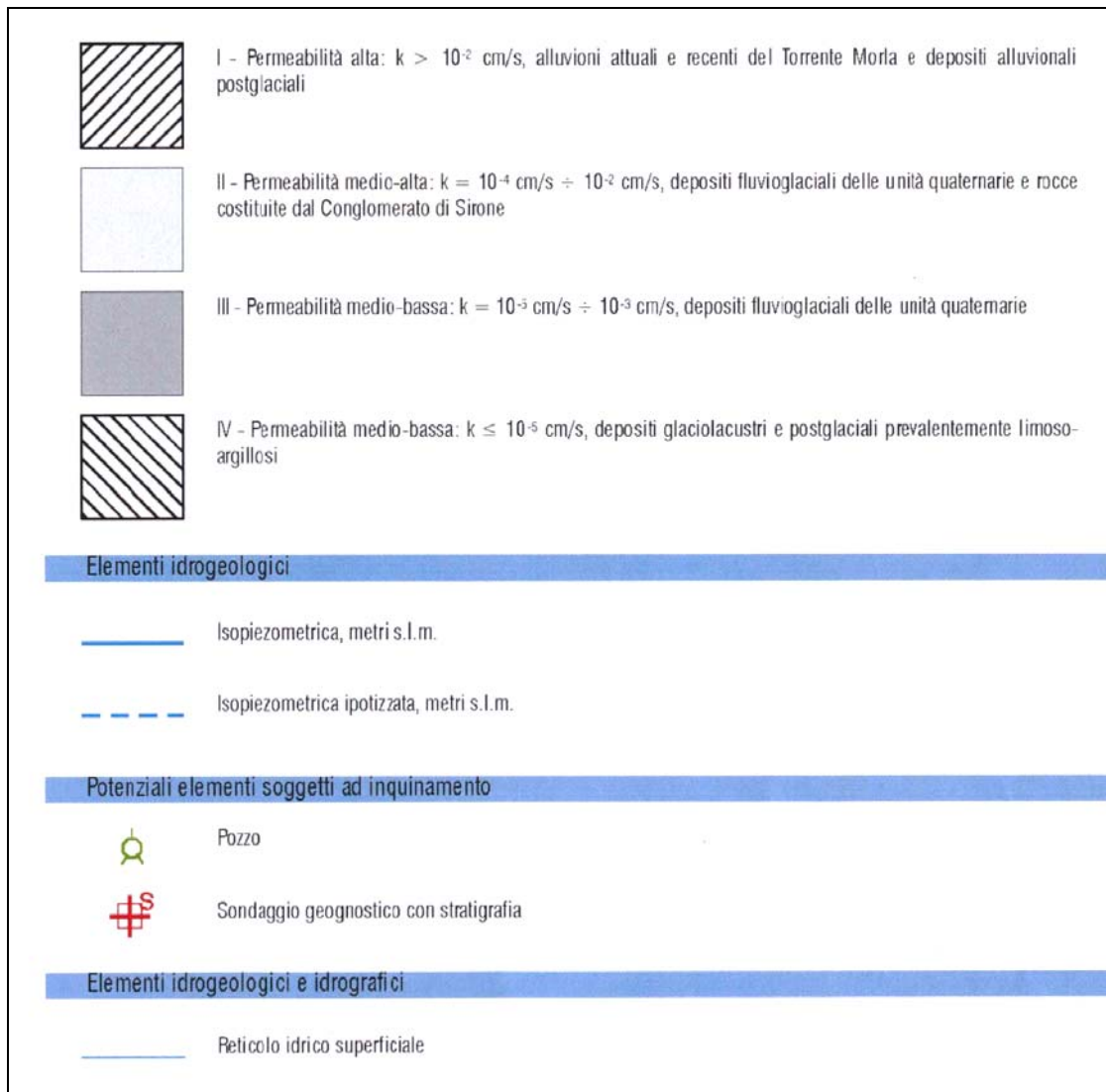


Fig.4 e relativa legenda

Da tale elaborato cartografico emerge la presenza di un corpo idrico sotterraneo con soggiacenza crescente da Nord a Sud e direttrice di deflusso è orientata da circa NW verso SE. Superficialmente, entro i primi metri dal piano campagna, è inoltre generalmente e 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.

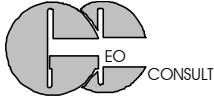
Questo trova conferma in indagini svolte dallo scrivente in zone vicine , pianeggianti, zona Stadio - Reggiani , ove è stata individuata una falda più superficiale con direttrice di deflusso principale complessivamente orientata verso S.SE, con soggiacenza attestata a circa 1-2.5 metri dal piano campagna ed una falda più profonda con direttrice di deflusso complessivamente orientata verso SE con gradienti idraulici prossimi al 2.5%. La soggiacenza è mediamente attestata intorno ai 10 m dal piano campagna.

A queste si aggiunge una falda profonda, presumibilmente in condizioni di artesianesimo, presente nei conglomerati posti ad oltre 60 metri di profondità e dalla quale attinge il pozzo della ditta Reggiani.

Per quanto riguarda più precisamente l'area in oggetto, sempre facendo riferimento al sondaggio eseguito nella zona del Museo di Arte Contemporanea, è stata rilevata acqua a debole profondità, circa 6 metri dal piano campagna, mentre sono noti fenomeni di filtrazione di acque seppure modesti ma che determinano umidità e ristagni nei vani sotterranei di abitazioni lungo via Pignolo Alta.

Di conseguenza andranno previsti drenaggi ed impermeabilizzazioni sia sulle pareti contro terra che sottostanti le solette dei fabbricati.

Per quanto riguarda le caratteristiche di permeabilità dei terreni dalla cartografia allegata risulterebbe l'area suddivisa in una zona a permeabilità medio alta e parte medio bassa. Si veda a tale proposito la precedentemente allegata carta in fig. 4.



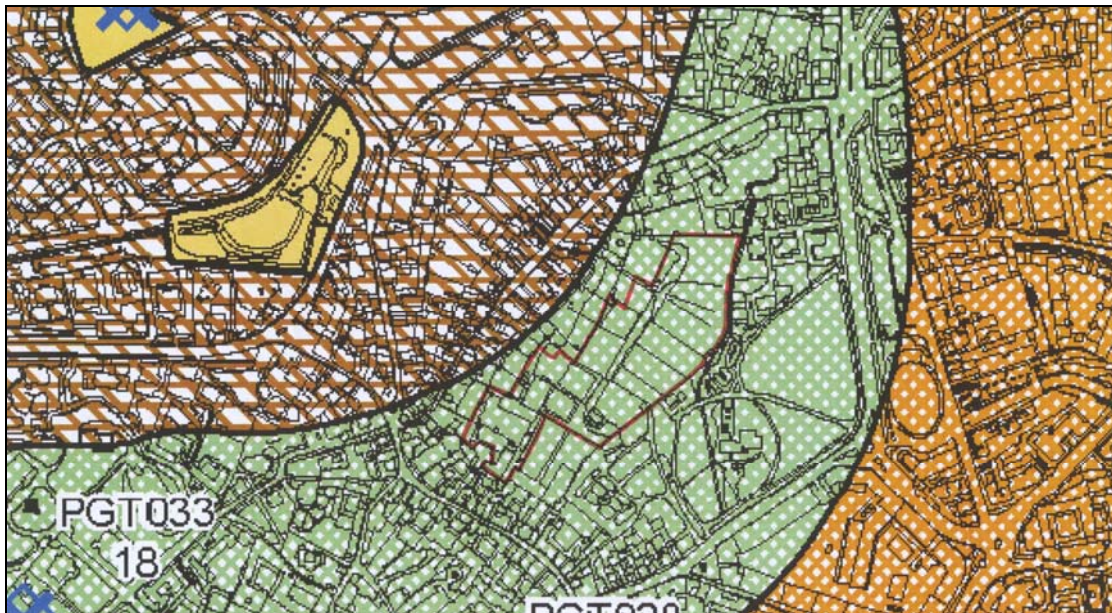
A parere dello scrivente sulla base di quanto descritto nel capitolo di inquadramento geologico e di indagini specifiche svolte proprio per fabbricati lungo via San Tommaso ,in mancanza di riscontri diretti nell'area oggetto di studio,ritengo a titolo precauzionale supporre che su tutta tale area la permeabilità risulti bassa quindi con scarse o nulle possibilità di drenaggio delle acque nel sottosuolo che quindi potrebbero facilmente ristagnare non filtrando nel sottosuolo.

Per quanto riguarda l'idrografia superficiale,come indicata sempre nella carta idrogeologica di fig. 4 l'area in oggetto confina a sud con un elemento del reticolo idrico superficiale rappresentato dalla Roggia Nuova e di conseguenza vanno osservate le distanze per consentire l'accessibilità per interventi di manutenzione e la realizzazione di interventi di difesa come indicato sulla carta di sintesi della componente geologica del PGT allegata in seguito in fig.6.

5) CONSIDERAZIONI PRELIMINARI SULLE CONDIZIONI DI INTERVENTO

L'intervento in previsione prevede ristrutturazione di edifici esistenti e nuove edificazioni con realizzazione di uno o due piani interrati.

La carta geotecnica della componente geologica del PGT colloca l'area, vedi la seguente fig.5, nella classe omogenea di terreno Gt4: depositi alluvionali e fluvioglaciali caratterizzati da terreni con forti eterogeneità tessiturali verticali e laterali. Alternanza di strati ghiaioso sabbiosi, talvolta privi di matrice, con strati limoso argillosi di spessore pluridecimetrico localmente superficiale e per la parte superiore dell'area in nella classe Gm2: conglomerati, peliti, arenarie, marne, calcari. Rocce con caratteristiche geomeccaniche da discrete a buone.



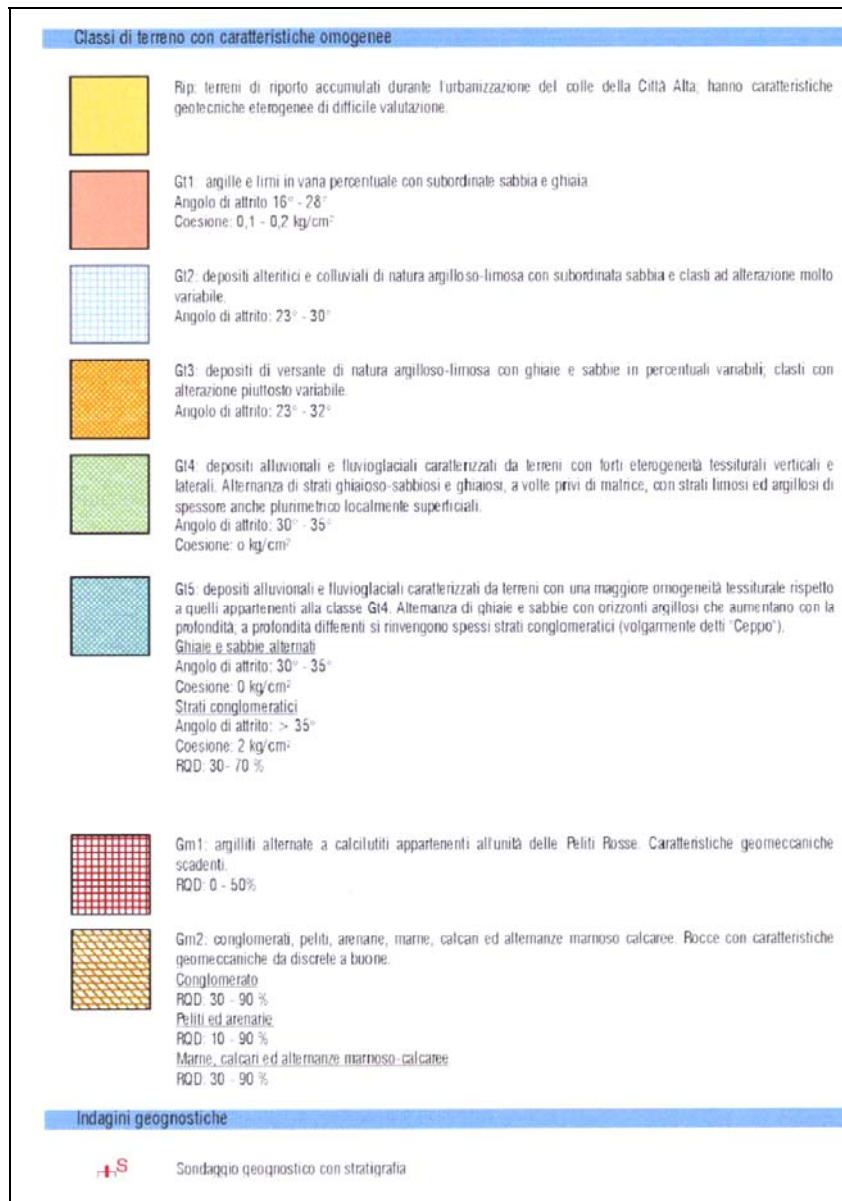
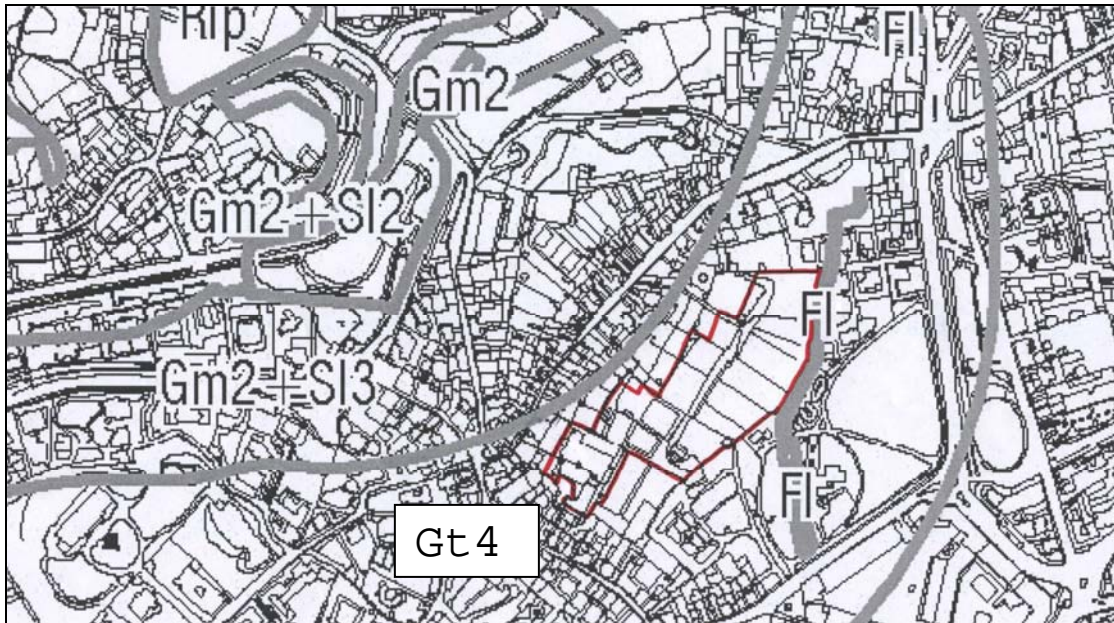


Fig. 5 e relativa legenda

Nella carta di Sintesi l'area rientra per gran parte in classe Gt4: area con buone caratteristiche geotecniche e discreta capacità portante e per la fascia prospiciente la roggia nuova in classe FI : area da lasciare a disposizione per manutenzione ed interventi di difesa. Si allega in fig. 6 lo stralcio della carta di sintesi.

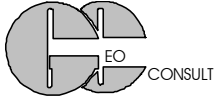


FI: Area adiacente a corsi d'acqua da mantenere a disposizione per consentire l'accessibilità per interventi di manutenzione e la realizzazione di interventi di difesa

GT4: Area con discreta capacità portante e buone caratteristiche geotecniche

Fig.6 Carta di sintesi con relativa legenda

A mio parere è presumibile che in parte possano interessarsi il substrato roccioso, nella parte alta dell'area o dove il piano di fondazione sia profondo e per il resto terreni presumibilmente di natura coerente o pseudocoerente con caratteristiche di consistenza da poco a moderate, quindi potenzialmente inadatti a ricevere carichi rilevanti e concentrati che dovranno essere distribuiti su fondazioni estese e rigide tipo platee nervate o travi reticolari o, qualora sia necessario limitare il cedimento differenziale ad esempio per appoggio della medesima struttura fondazionale su terreno e roccia, trasferiti in profondità mediante pali o micropali trivellati, da definire sulla base di approfondita indagine geognostica e relativa relazione geotecnica.



Per quanto riguarda le strutture interraste esse potranno 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, ben valutando le condizioni al contorno. Gli scavi dovranno essere adeguatamente contrastati con opere di contenimento realizzate preliminarmente agli stessi quali paratie o berlinesi anche tirantate.

6) VINCOLI E FATTIBILITA' GEOLOGICA

Nello studio geologico del PGT di Bergamo la carta dei Vincoli prevede una limitata zona di tutela dei beni culturali ed ambientali nel settore NE dell'area ed una fascia di rispetto sempre sul confine NE del reticolo idrico consortile. Si allega stralcio in fig.7 .

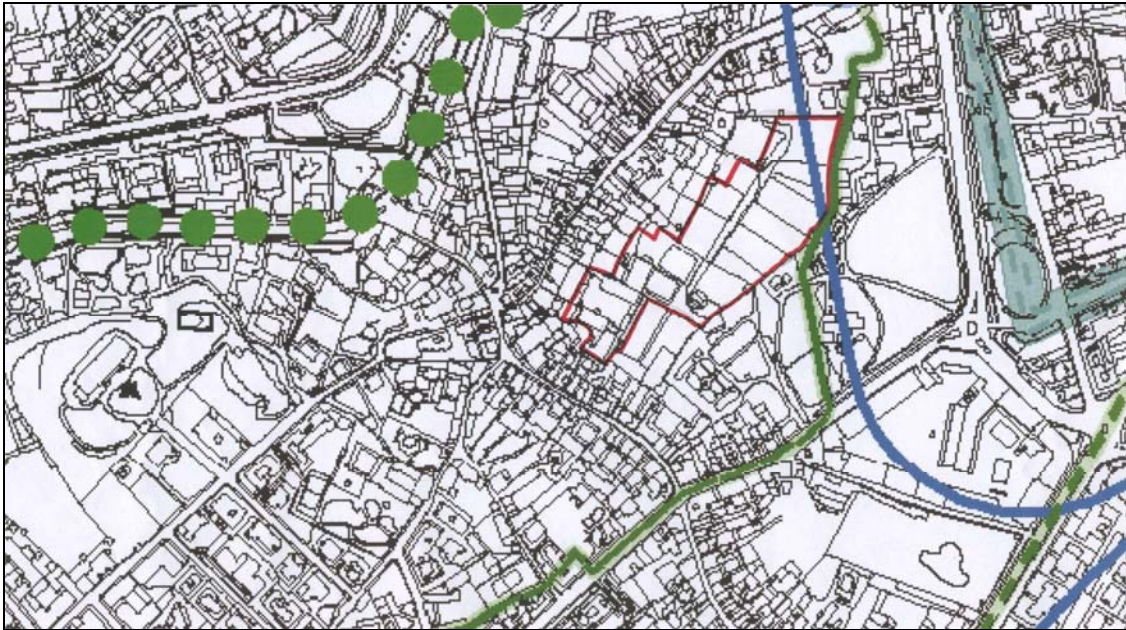




Fig. 7 Carta dei vincoli e relativa legenda

La carta della fattibilità geologica individua la classe 3a: area con consistenti limitazioni d'uso connesse alle modeste caratteristiche geotecniche del primo sottosuolo oppure con consistenti eterogeneità verticali ed orizzontali (compreso zone con materiale di riporto). Si allega la carta in fig.8.



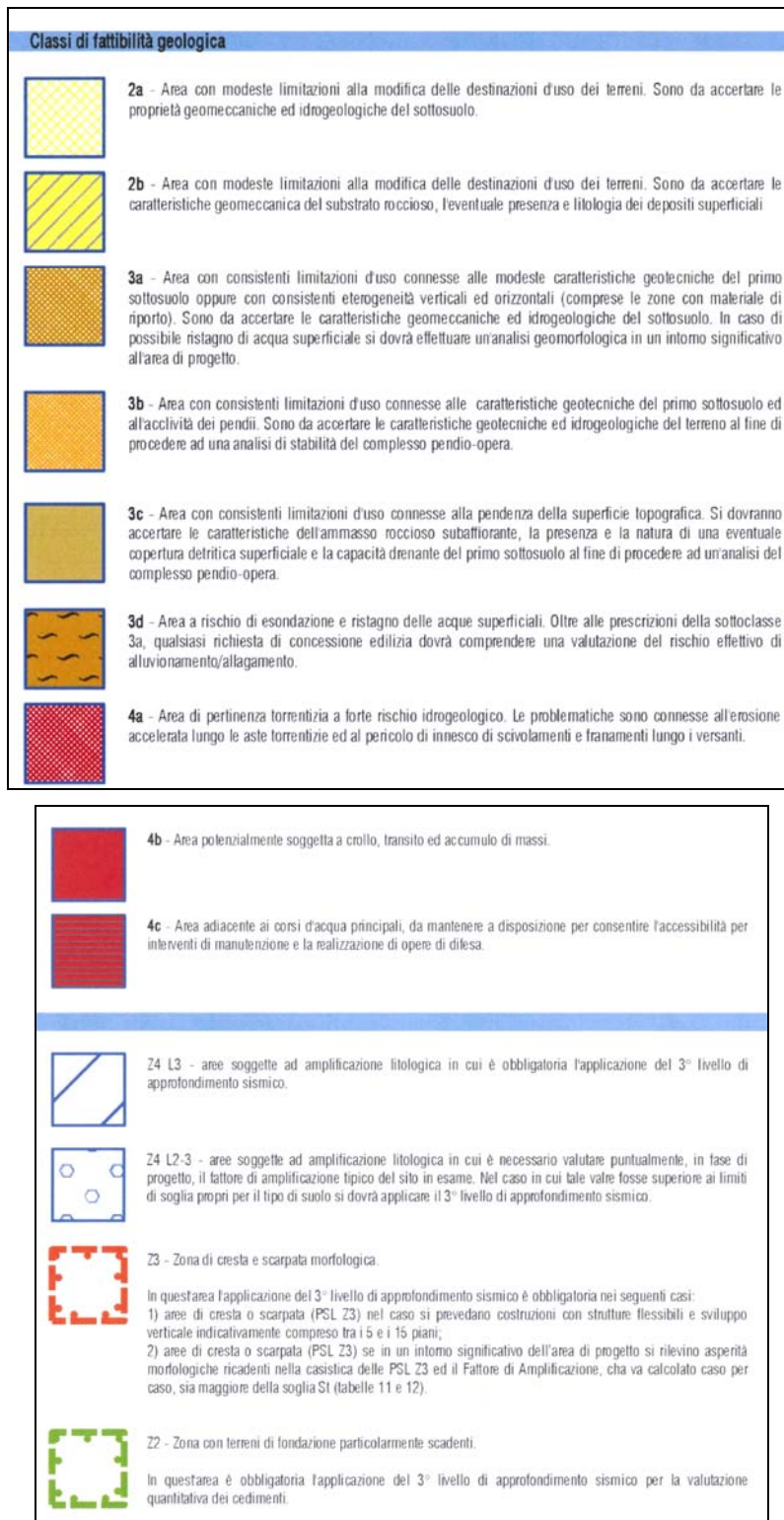
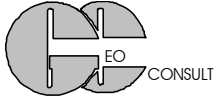


Fig.8 Carta della Fattibilità e relativa legenda



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

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 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 o triassiali o ove presente il substrato determinazione dei valori di RQD mod., prove Point Load Test, prove di taglio ove presenti interstratificazioni siltitico argillitiche.

In foro si potranno eseguire prove di permeabilità e posizionare piezometri al fine di monitorare la presenza di acqua sotterranea.

Dovranno inoltre eseguirsi prove penetrometriche dinamiche o statiche in funzione della granulometria e natura dei terreni.

7) NORMATIVA 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 **Z4a (come risulta dalla Figura n°8 - Carta della fattibilità geologica e dalle nostre osservazioni in sito)** 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 all'analisi sismica di II° livello.

E' stata quindi eseguita una prospezione sismiche M.A.S.W. nella zona oggetto di intervento al fine di ottenere i corretti fattori di amplificazione.

7.1 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.

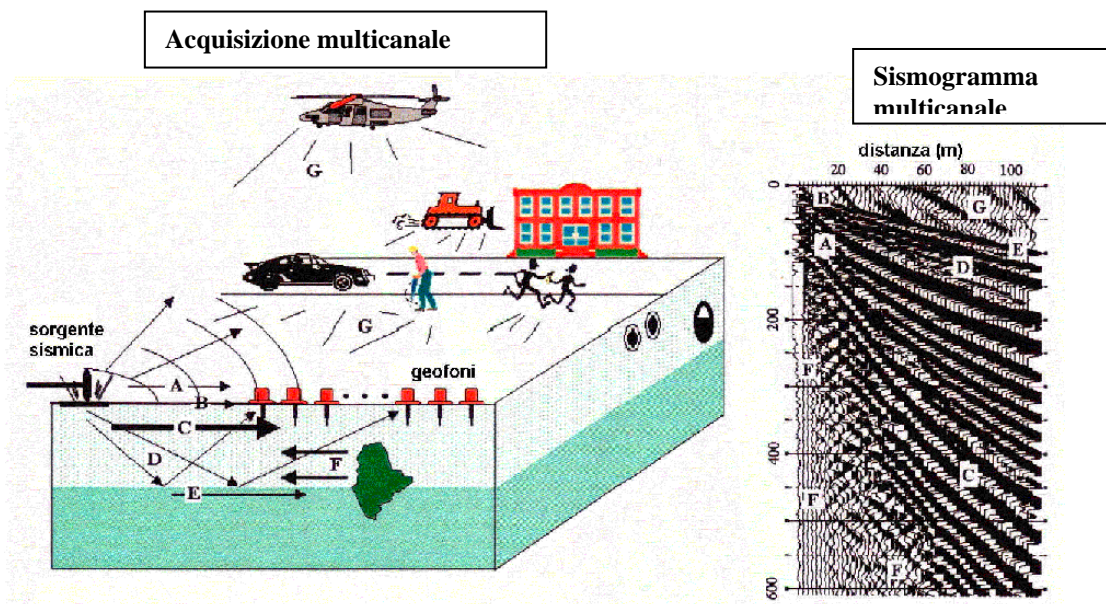
La velocità di fase e la frequenza sono le due variabili (x ; y) il cui legame costituisce la curva di dispersione. E' anche

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 Vs 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 (V_s) 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.hblblhjkjg

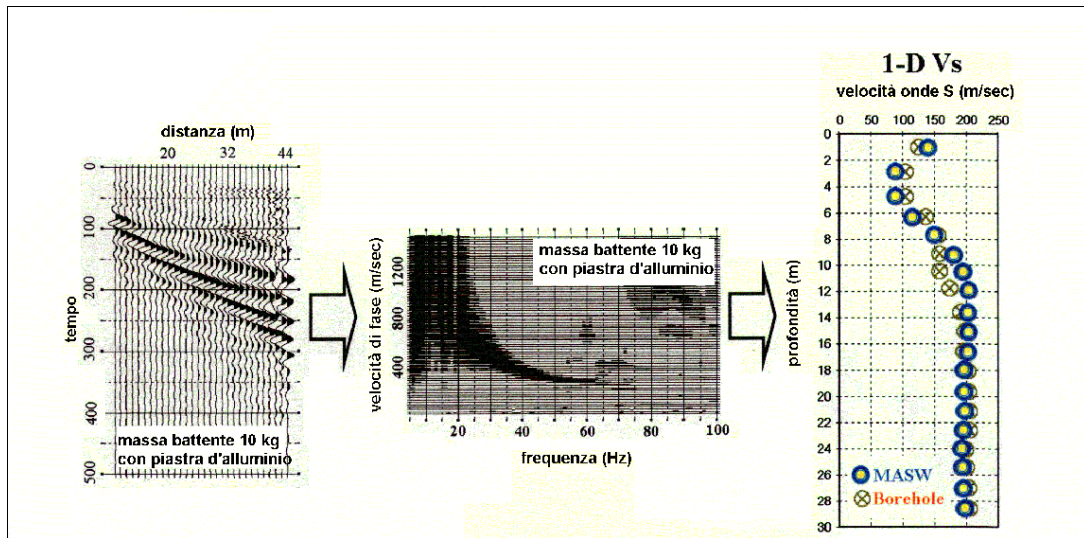
VANTAGGI DELLA REGISTRAZIONE MULTICANALE



- | | |
|-----------------------|----------------------|
| A: onde in aria | E: onde rifratte |
| B: onde dirette | F: onde riverberate |
| C: onde di superficie | G: rumore ambientale |
| D: onde riflesse | |

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

7.2 RISULTATI

In fig.9 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,</i> posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Dall' indagine eseguita sono risultati i seguenti valori nei due intervalli di profondità presi in esame:

V_{s30} (da 4.0 a 34.0 m da p.c.) = 351.3 m/s (categoria di suolo "C")

V_{s30} (da 8.0 a 38.0 m da p.c.) = 368.2 m/s (categoria di suolo "B")

7.3 ANALISI SISMICA DI II° LIVELLO

Grazie ai 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.

Il valore ottenuto 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 Fa ottenuto dalla procedura semplificata.

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

$$\mathbf{Fa (0.1-0.5 s)= 1.9}$$

$$\mathbf{Fa (0.5-1.5 s)= 2.4}$$

Per un suolo in Classe B i medesimi valori soglia risultano:

$$\mathbf{Fa (0.1-0.5 s)= 1.5}$$

$$\mathbf{Fa (0.5-1.5 s)= 1.7}$$

Per procedere con il calcolo del valore di Fa 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 Vs risulta compatibile.

All'interno della suddetta scheda litologica si è scelta, in funzione della profondità e della velocità Vs dello strato superficiale, la curva n° 2 per la valutazione del valore di Fa 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 Vs uguale o superiore a 800 m/s utilizzando la seguente equazione:

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

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 90 m da p.c. per il caso 4-34 m da p.c. e circa 100 m da p.c. nel caso 8-38.

Sono stati aggiunti tre sismostrati in entrambi i casi corrispondenti a tre punti della curva che mostra il trend esponenziale di estrapolazione completando nel modo seguente la tabella profondità-Vs:

Caso 1 (4-34 m da p.c.)

Profondità (m)	Vs (m/s)
3.0	188
5.4	256
7.5	274
10.2	314
13.5	333
17.1	357
34	387
47.5	500
70	650
90	800

Caso 2 (8-38 m da p.c.)

Profondità (m)	Vs (m/s)
3.0	190
5.4	251
7.5	279
10.2	307
13.5	330
17.1	354
38	386
60	550
80	675
100	800

I valori di T e di Fa così determinati vengono approssimati alla prima cifra decimale e per il sito in esame risultano:

Caso1:

T = 0.6 s

Fa (0.1-0.5s) = 1.2

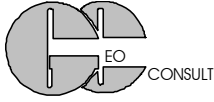
Fa (0.5-1.5s) = 1.9

Caso2:

T = 0.7 s

Fa (0.1-0.5s) = 1.1

Fa (0.5-1.5s) = 1.9



Nel primo caso entrambi i valori riscontrati sono risultati inferiori ai valori soglia per il comune di Bergamo: la normativa è quindi da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche dei possibili effetti di amplificazione litologica del sito sia per costruzioni alte e flessibili (oltre 5-6 piani) che per strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide.

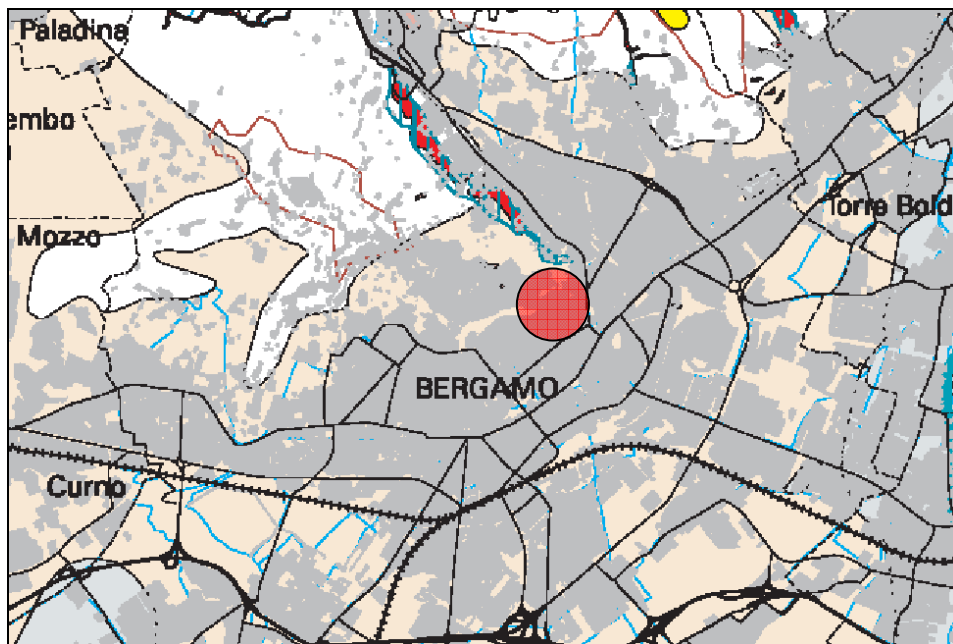
Nel secondo caso il fattore di amplificazione soglia risulta superato nel periodo 0.5 - 1.5 s, quindi nel caso di strutture alte e flessibili è da prescrivere l'analisi sismica di 3° livello in fase progettuale.

**8) 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 n° 9 assegna all'area di intervento la seguente classificazione:

"Ambiti di pianura nei quali gli interventi di trasformazione territoriale devono mantenere come soglia minima le condizioni geologiche ed idrauliche esistenti (art. 44)". **Figura n° 9**




Sempre dagli elaborati di studio allegati al PTCP sono riportate nelle figure n°10 e n° 11 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.



Figura n° 10

**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

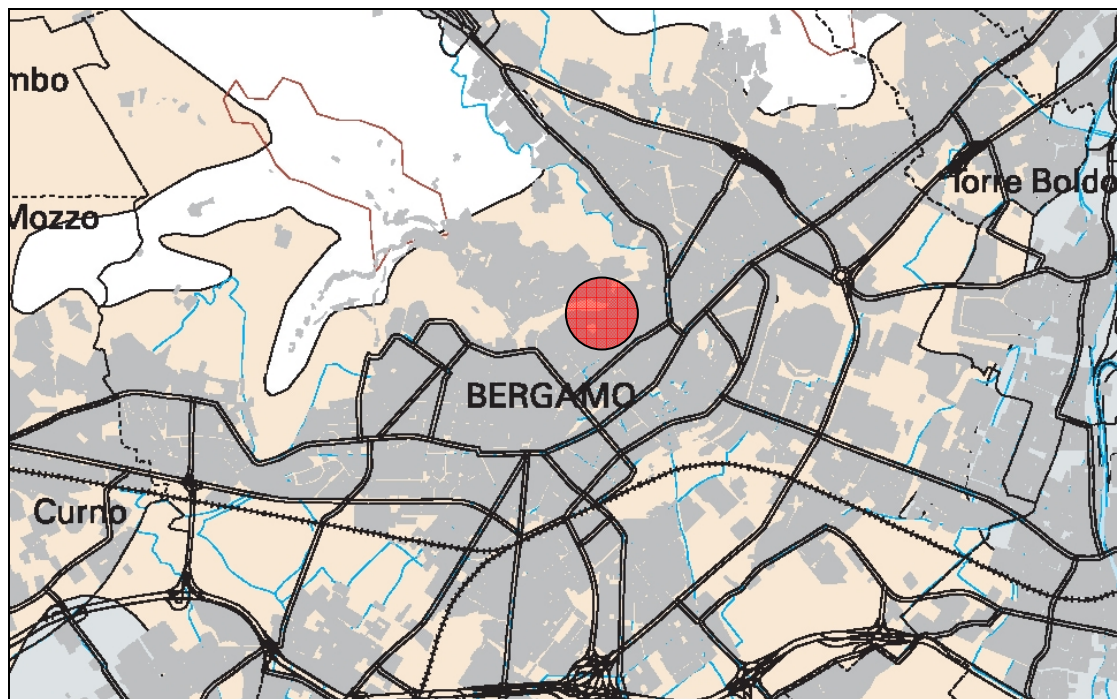
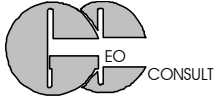


Figura n° 11

 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).



9) CONCLUSIONI

Il presente studio ha permesso di verificare la compatibilità geologica della destinazione d'uso del territorio relativamente all'intervento edilizio di riconversione dell'area scolastica dimessa "Ex Complesso Canossiane" ad edilizia residenziale, sia in termini di pericolosità geologica intrinseca per processi geodinamici interni (sismicità) ed esterni (stabilità del pendio, processi geomorfici in atto, ecc.) individuando le necessarie indagini geognostiche da attuarsi in fase esecutiva in sede di richiesta del permesso di costruire (l.r. 12/05, art. 38) come indicato negli specifici capitoli della presente relazione al fine di ottemperare 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).