

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

Immobile “Villa Zorn”

Via Cesare da Sesto n. 113, Sesto San Giovanni (MI)

RELAZIONE GEOLOGICA



p.c.: Comune di Sesto San Giovanni (MI)

Documento	Data	Pagine relazione
Allegato 2 alla RdC-099-2022	Marzo 2022	-
Revisione	Data di revisione	Allegati
-		Allegato 1: RdP- 098-2022 Allegato 2: Relazione geologica Allegato 3: Doc. storica interventi di consolidamento anni '80 Allegato 4: Tav01_Planimetrie con indicazione dei possibili interventi di consolidamento
Il responsabile Ing. Paolo Panzeri		



Provincia di Milano



COMUNE DI SESTO SAN GIOVANNI

Piano di Governo del Territorio

**Adeguamento dello studio geologico, idrogeologico e sismico ai sensi
della L.R. 12/05 (approvato con D.C.C. n. 48 del 29/10/2012)**

**INTEGRAZIONI ALLA PERICOLOSITA' SISMICA RELATIVAMENTE AI
COMPARTI STAZIONE, SCALO FERROVIARIO, UNIONE, CONCORDIA E TRAI
APPARTENENTI AGLI AMBITI ATs1 E ATs2**

N. Commessa: 1047_13

Data: Giugno 2013

Studio Associato di geologia applicata

Dott. Geol Roberto Granata - Dott. Geol. Paolo Granata

Via Santa Croce n° 7 - 21100 Varese

Tel. 0332/242283 Fax 0332/241231

e-mail: info@studiocongeo.it



INDICE

1	PREMESSA	2
2	INQUADRAMENTO URBANISTICO	4
3	COMPONENTE GEOLOGICA IDROGEOLOGICA E SISMICA	7
3.1	Inquadramento geologico	7
3.2	Inquadramento idrogeologico	9
3.3	Pericolosità sismica locale	12
3.4	Vincoli	14
3.5	Sintesi	18
3.6	Fattibilità geologica	19
4	APPROFONDIMENTO DI 2° LIVELLO	24
4.1	Indagine sismica MASW	24
4.1.1	Elaborazione dati e risultati	26
4.1.2	Categoria di sottosuolo	29
4.2	indagine geofisica HVSR	31
4.3	Fattore di amplificazione	36
5	CONCLUSIONI	39

1 PREMESSA

Il presente documento costituisce un'integrazione alla pericolosità sismica locale dello studio geologico, idrogeologico e sismico recentemente adeguato ai sensi della L.R. 12/2005 con deliberazione di approvazione del Consiglio Comunale di Sesto San Giovanni n. 48 del 29/10/2012, "Controdeduzioni alle osservazioni ed approvazione della variante agli elaborati del P.G.T. vigente, conseguente il recepimento di contenuti relativi a piani di settore e di atti sovraordinati, nonché correzione di errori materiali cartografici non costituenti variante al P.G.T. medesimo e modifica della destinazione d'uso di area residuale" (pubblicata sul B.U.R.L. serie Avvisi e Concorsi n. 3 del 16/01/2013), relativamente ad una quota parte degli ambiti di trasformazione strategica ATs1 e ATs2.

Esso costituisce altresì un documento propedeutico all'asseverazione della congruità tra le previsioni urbanistiche della proposta di variante al P.G.T. vigente (Delibere n. 351 del 11/12/2012 e n. 2 del 08/01/2013) connessa all'Accordo di Programma per la realizzazione della "Città della Salute e della Ricerca" in Sesto San Giovanni, promosso dalla Regione Lombardia con D.G.R. IX/3666 del 02/07/2012 (pubblicata sul sito web SIVAS da Regione Lombardia in data 24/01/2013) e i contenuti del sopracitato studio geologico, idrogeologico e sismico.

Lo studio, partendo da una breve sintesi delle previsioni progettuali, descrive i principali elementi che caratterizzano il comparto in esame - di seguito definito - dal punto di vista geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico, desumibili dal vigente studio geologico, valutandone il grado di pericolosità / vulnerabilità e verificando quindi la compatibilità dell'intervento in esame.

Poiché lo studio geologico del territorio comunale comprende tale comparto nello scenario di amplificazione sismica Z4a (*"Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi"*) e l'Accordo di Programma prevede,

all'interno del medesimo ambito, la realizzazione di opere che ricadono nella definizione di edifici ed opere strategiche e rilevanti di cui al D.D.U.O. n. 19904 del 21 novembre 2003; nel presente elaborato verrà sviluppato, come previsto dalla D.G.R. 30/11/12 n. 9/2616, l'approfondimento sismico di 2° livello, per il quale sono state appositamente realizzate delle indagini sismiche (n. 4 stendimenti secondo la metodologia MASW) per la determinazione dei parametri necessari allo sviluppo della procedura descritta nell'allegato 5 della D.G.R. 30/11/12 n. 9/2616.



Fig. n. 1.1 – Foto aerea dell'area di indagine (da Google Maps).

2 INQUADRAMENTO URBANISTICO

Il comparto considerato nel presente studio comprende una quota parte degli ambiti di trasformazione strategica ATs1 e ATs2 del PGT vigente, corrispondenti alle aree della stazione, dell'ex scalo ferroviario e degli ex comparti delle Acciaierie Falck Unione, Concordia e Trai, così come individuati nella figura n. 2.1.

La recente variante del PGT approvata con D.C.C. n. 48 del 29/10/2012 ha ammesso, con una modifica delle NTA del Piano dei Servizi, l'insediamento di attrezzature di eccellenza previste dall'Accordo di Programma "*Città della Salute e della Ricerca*" di cui alla D.G.R. n. 3666/2012 in quota parte delle aree destinate a Parco Urbano, da localizzare negli ambiti ATs1 e ATs2.

I sopracitati ambiti "ATs1 - Ex Falck" e "ATs2 - Scalo Ferroviario" sono assoggettati a specifico Programma Integrato di Intervento (PII), conforme al PGT vigente, approvato dal Comune di Sesto San Giovanni con delibera G.C. n. 142 in data 30.4.2012, la cui vigenza è stata sancita dalla firma della convenzione l'8 gennaio 2013.

L'Accordo di Programma per la realizzazione della "*Città della Salute e della Ricerca*" che, come precisato in premessa, costituisce variante allo strumento urbanistico vigente del Comune di Sesto San Giovanni, ha individuato nell'ex comparto Unione, tra il prolungamento di via Acciaierie, viale Italia e la Diagonale, una superficie di circa 205.000 mq da destinare alla realizzazione di aree sanitarie e di supporto, centrali tecnologiche e logistiche, parcheggi e circolazione interna.

La predetta variante urbanistica, oggetto della presente procedura di asseverazione, è finalizzata a rendere coerenti i contenuti del Documento di Piano e del Piano delle Regole rispetto alla localizzazione di valenza strategica della "*Città della Salute e della Ricerca*" in Comune di Sesto S. Giovanni.

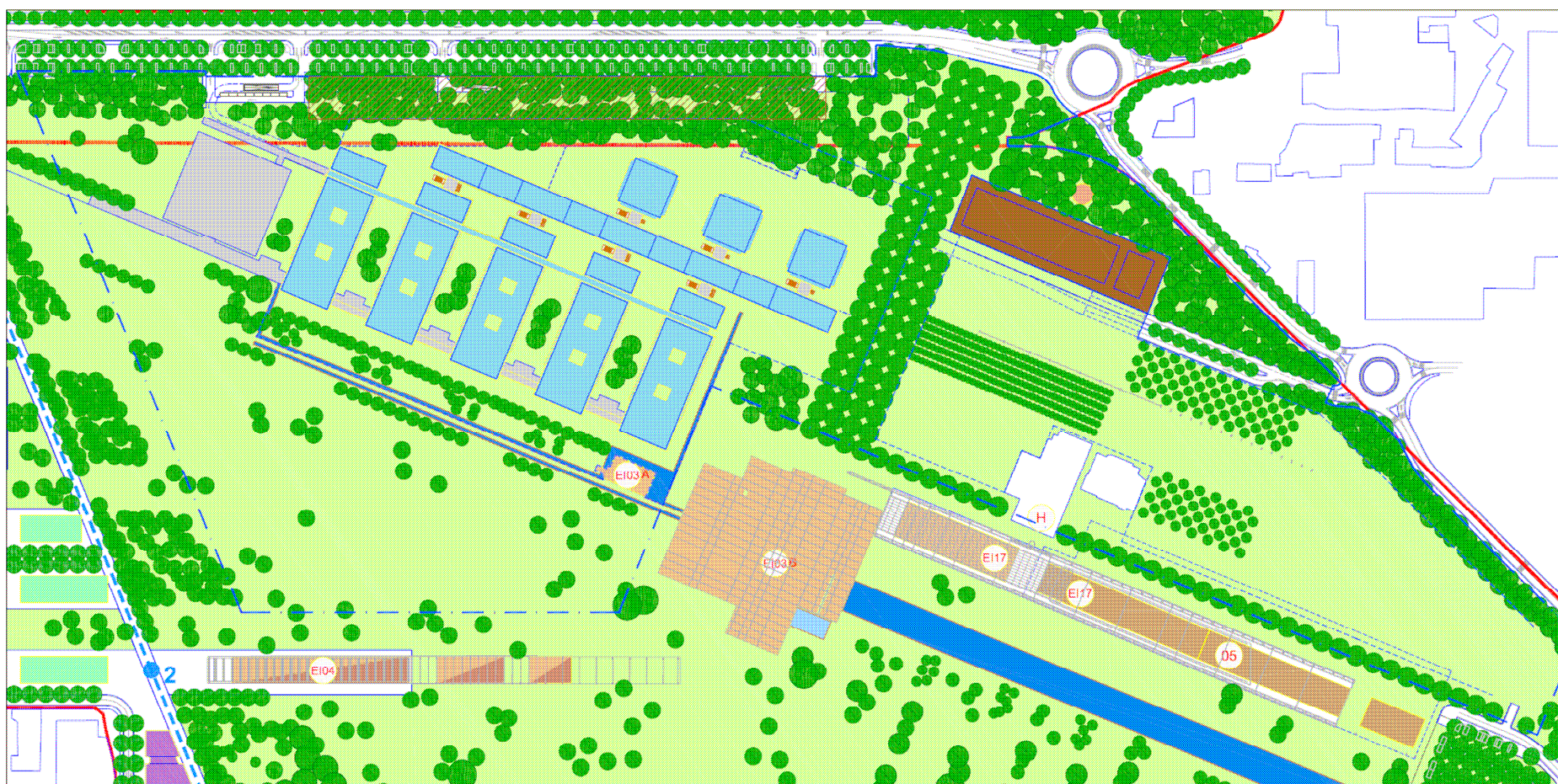


Fig. n. 2.2 – Planimetria generale di dettaglio dell'ambito interessato dall'Accordo di programma (estratto da Rapporto Ambientale della Procedura di VAS).

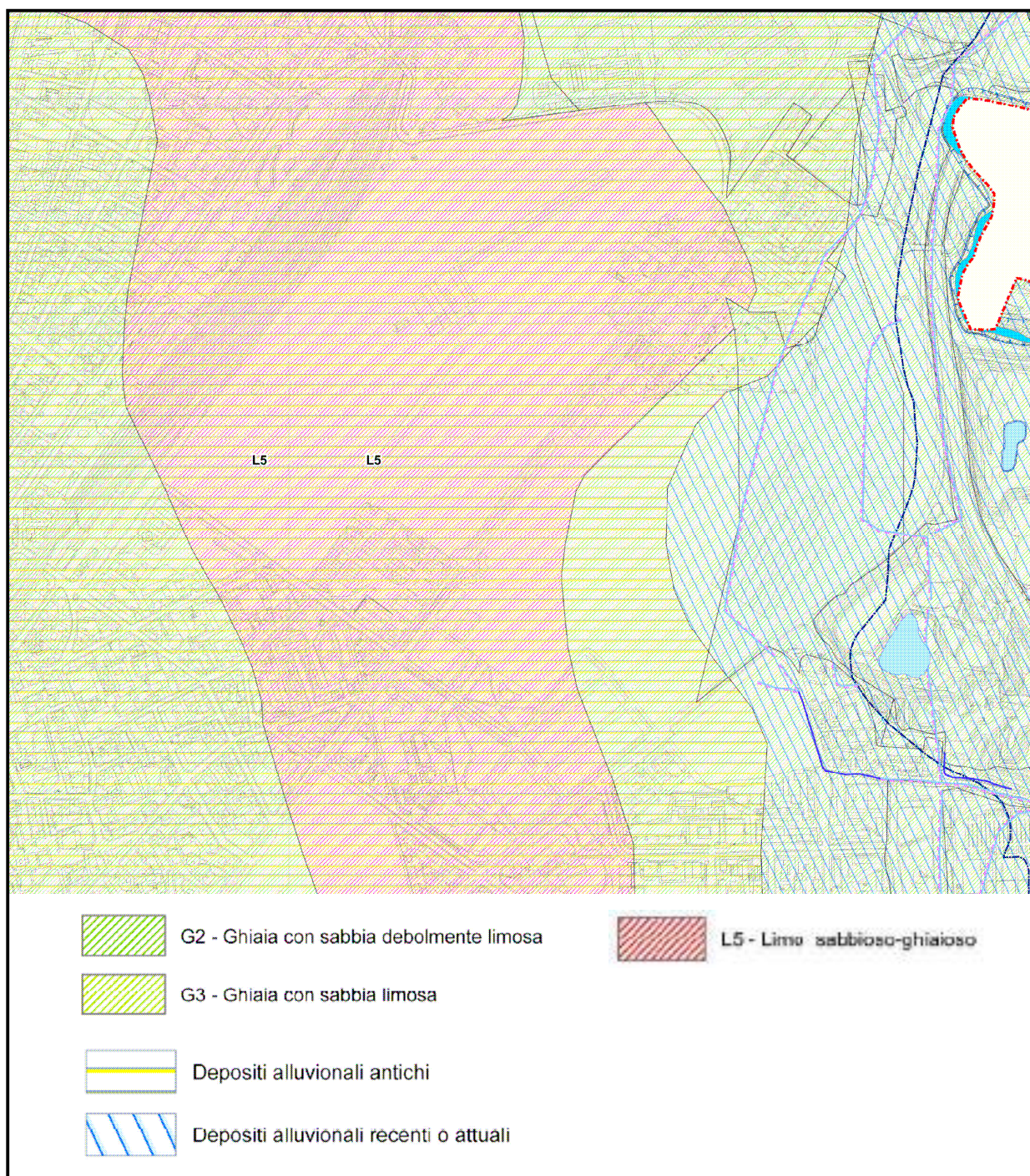
3 COMPONENTE GEOLOGICA IDROGEOLOGICA E SISMICA

3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il comparto in esame si colloca, dal punto di vista geologico, in un ambito di pianura fluvio-glaciale e alluvionale. La maggior parte dell'area in esame fa parte del cosiddetto Livello Fondamentale della Pianura ("Diluvium recente") caratterizzato da una forte eterogeneità litologica e di posizione, specie negli orizzonti più superficiali (3 – 5 m). In generale questa unità è costituita da ghiaie e sabbie con intercalazioni di livelli limoso argillosi più o meno sottili; i clasti sono di natura poligenica, prevalentemente di origine alpina, con arenarie e calcari subordinati, raggiungono dimensione fino a c.ca 15 cm e presentano una forma arrotondata. Gli orizzonti superficiali che presentano una più ampia variabilità litologica comprendono ghiaie con sabbia limosa o debolmente limosa e limi sabbioso ghiaiosi. Lo strato di alterazione superficiale, spesso asportato e/o rimaneggiato dall'azione antropica, presenta uno spessore non superiore al metro.

Nel settore orientale, verso il corso del Fiume Lambro, si individuano depositi alluvionali recenti e attuali ("Alluvium") che occupano una posizione leggermente ribassata rispetto a quelli del Livello Fondamentale della Pianura.

Dal punto di vista geomorfologico, trattandosi di un contesto fortemente modificato dall'azione antropica, non si riscontrano azioni morfogenetiche attive o quiescenti: l'area appare morfologicamente stabile.



Tav. n. 3.1 – Estratto carta litologica dello studio geologico comunale (Basin – Dott. Geol. Luca Siena).

Il comparto in esame è stato in passato oggetto di indagini geognostiche e geotecniche ("Ambiente S.C.", 30/06/2011) che hanno

permesso la ricostruzione di un modello geologico preliminare del sito caratterizzato dalla presenza di quattro livelli principali:

0,0 ÷ 2,0-3,0	Terreno (ghiaia e sabbia in matrice limosa, limo sabbioso argilloso) misto a riporti storici.
2,0-3,0 ÷ 5,0-8,0	Ghiaia e sabbia in matrice in matrice argilloso limosa
5,0-8,0 ÷ 33,0	Ghiaia e sabbia limosa/debolmente limosa
33,0 ÷ 50,0	Sabbia con ghiaia /ghiaiosa a tratti debolmente limosa

3.2 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Nell'area della media pianura Milanese, si distinguono almeno tre "unità idrogeologiche", distinte in funzione della loro omogeneità litologica; dall'alto al basso si riconoscono:

Unità "ghiaioso-sabbiosa"

E' costituita dai sedimenti fluvioglaciali del Pleistocene sup. (Würm autoctono), litologicamente caratterizzati da ghiaie e sabbie in matrice limosa, intercalati a livelli discontinui e poco potenti di argilla. Questa unità costituisce l'acquifero della falda freatica superficiale. L'unità raggiunge nel settore in esame la profondità di c.ca 50.

Unità "ghiaioso-sabbioso-limosa"

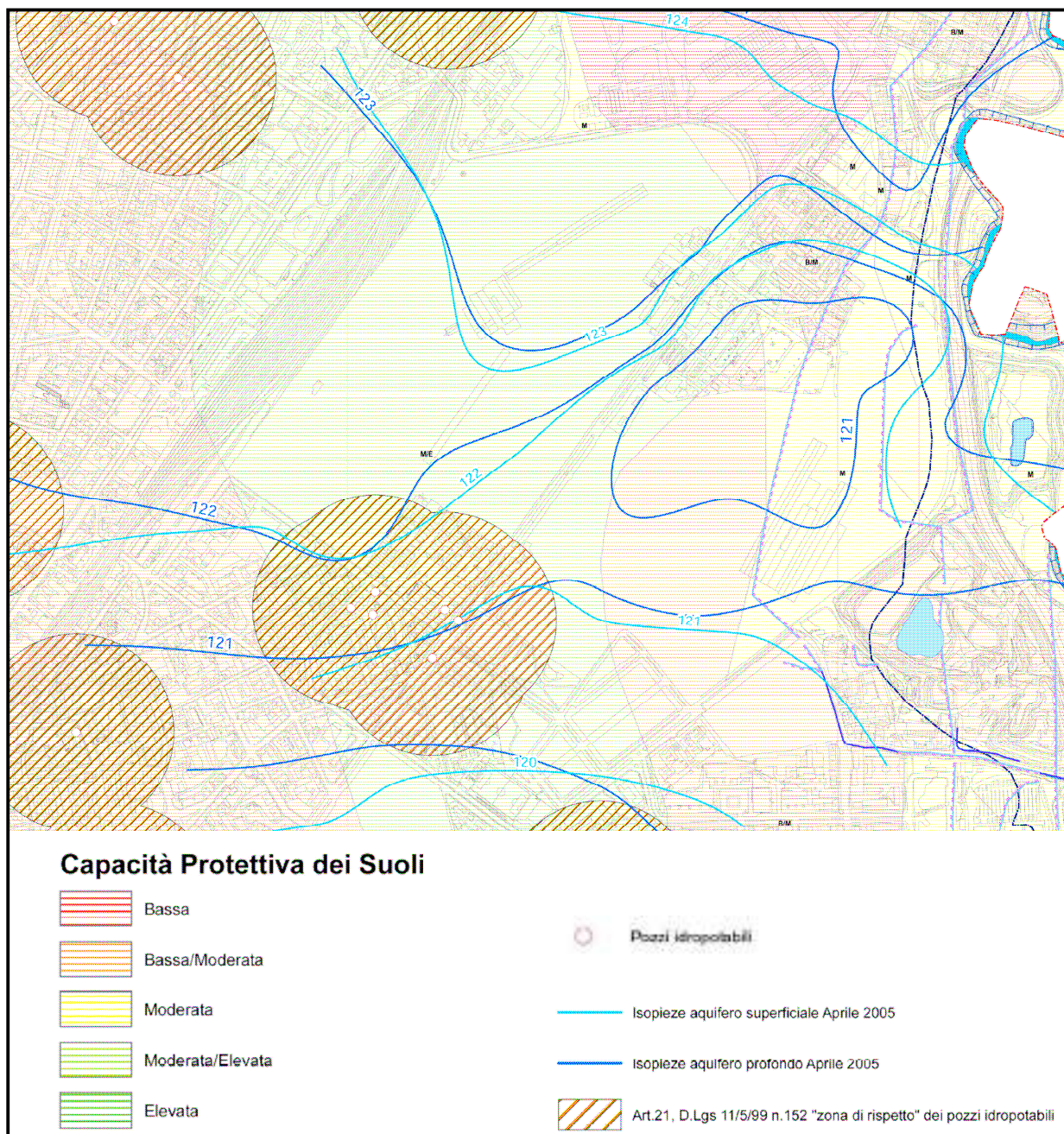
E' sede di una falda semiconfinata ed è separata dal precedente acquifero da uno strato più o meno continuo di argilla dallo spessore variabile da qualche metro fino ad un massimo di c.ca 5-6 m. Questa unità è costituita dai sedimenti fluvioglaciali del Pleistocene medio (Riss-Mindel autoctono) che in profondità vengono sostituiti, in modo non sempre continuo, dall'"unità a conglomerati e arenarie basali" (Ceppo autoctono). Normalmente questa successione raggiunge i 100 m di profondità e, unitamente all'unità precedente costituisce quello che viene definito "l'acquifero tradizionale", composto appunto da due falde, una libera più superficiale ed una semiconfinata. I rapporti tra le due falde dipendono dalla presenza, intorno ai 40-50 m di profondità, di un

livello argilloso, discontinuo e a spessore variabile. Idraulicamente quindi l' "acquifero tradizionale" è un sistema monostrato multifalda, a causa degli scambi idrici legati ai fenomeni di drenanza tra le due falde.

Unità "sabbioso-argillosa"

La 3° unità idrogeologica, generalmente riscontrabile oltre i 100 m di profondità, è caratterizzata da facies di origine sia continentale e di transizione (unità sabbioso-argillosa) che marine (unità argillosa) del Pleistocene inferiore e Calabriano. Questi sedimenti ospitano la falda più profonda, idraulicamente separata dall' "acquifero tradizionale".

I depositi fluvioglaciali e alluvionali ghiaioso sabbiosi che costituiscono il substrato del territorio comunale presentano caratteristiche di permeabilità medio elevata e solo localmente sono presenti, in superficie o in profondità, livelli limoso argillosi. Queste condizioni determinano un elevato grado di vulnerabilità dell'acquifero superficiale.



Tav. n. 3.2 – Estratto carta idrogeologica dello studio geologico comunale
(Basin – Dott. Geol. Luca Siena).

3.3 PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

Le particolari condizioni geologiche e geomorfologiche di una zona (condizioni locali) possono influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità sismica di base producendo effetti diversi che devono essere considerati nella valutazione generale della pericolosità sismica dell'area.

L'analisi della sismicità locale, condotta secondo la metodologia presentata nell'Allegato 5 della D.G.R. n. 9/2616 del 30-11-11, si fonda su tre livelli di approfondimento.

L'analisi di 1° livello, obbligatorio per tutti i Comuni, consiste in un approccio di tipo qualitativo, propedeutico ai successivi livelli di approfondimento, che trova le basi nella continua e sistematica osservazione diretta degli effetti prodotti dai terremoti. Il metodo permette l'individuazione delle zone ove i diversi effetti prodotti dall'azione sismica sono, con buona attendibilità, prevedibili, sulla base di osservazioni geologiche e sulla raccolta dei dati disponibili per una determinata area, quali la cartografia topografica di dettaglio, la cartografia geologica e dei dissesti (dati esistenti già inseriti nella cartografia di analisi e inquadramento). Il risultato di questo primo livello di approfondimento è rappresentato dalla carta della pericolosità sismica locale, nella quale viene riportata la perimetrazione areale delle diverse situazioni tipo (*Tab. n. 4.1*) in grado di determinare gli effetti sismici locali, con riferimento alla *Tabella 1* di cui all'Allegato 5 alla D.G.R. n. 9/2616/11.

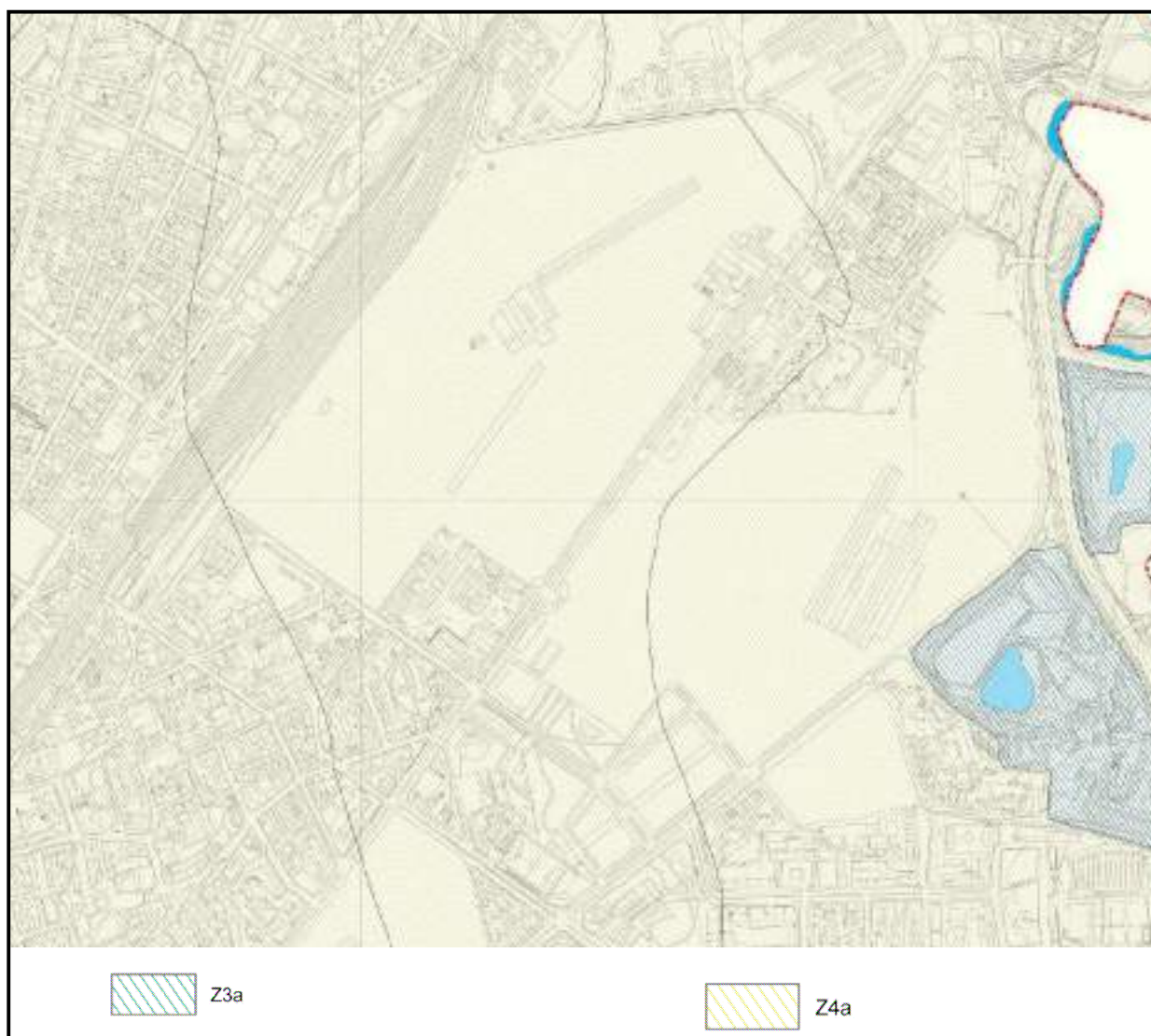
In particolare lo studio geologico del territorio comunale ha riconosciuto per il comparto in esame la seguente area di pericolosità sismica locale (PSL):

Z4a) Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali.

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
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	
Z2a	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.)	Cedimenti
Z2b	Zone con depositi granulari fini saturi	Liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio $H > 10$ m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

Tab. n. 3.1 – *Scenari di pericolosità sismica locale.*

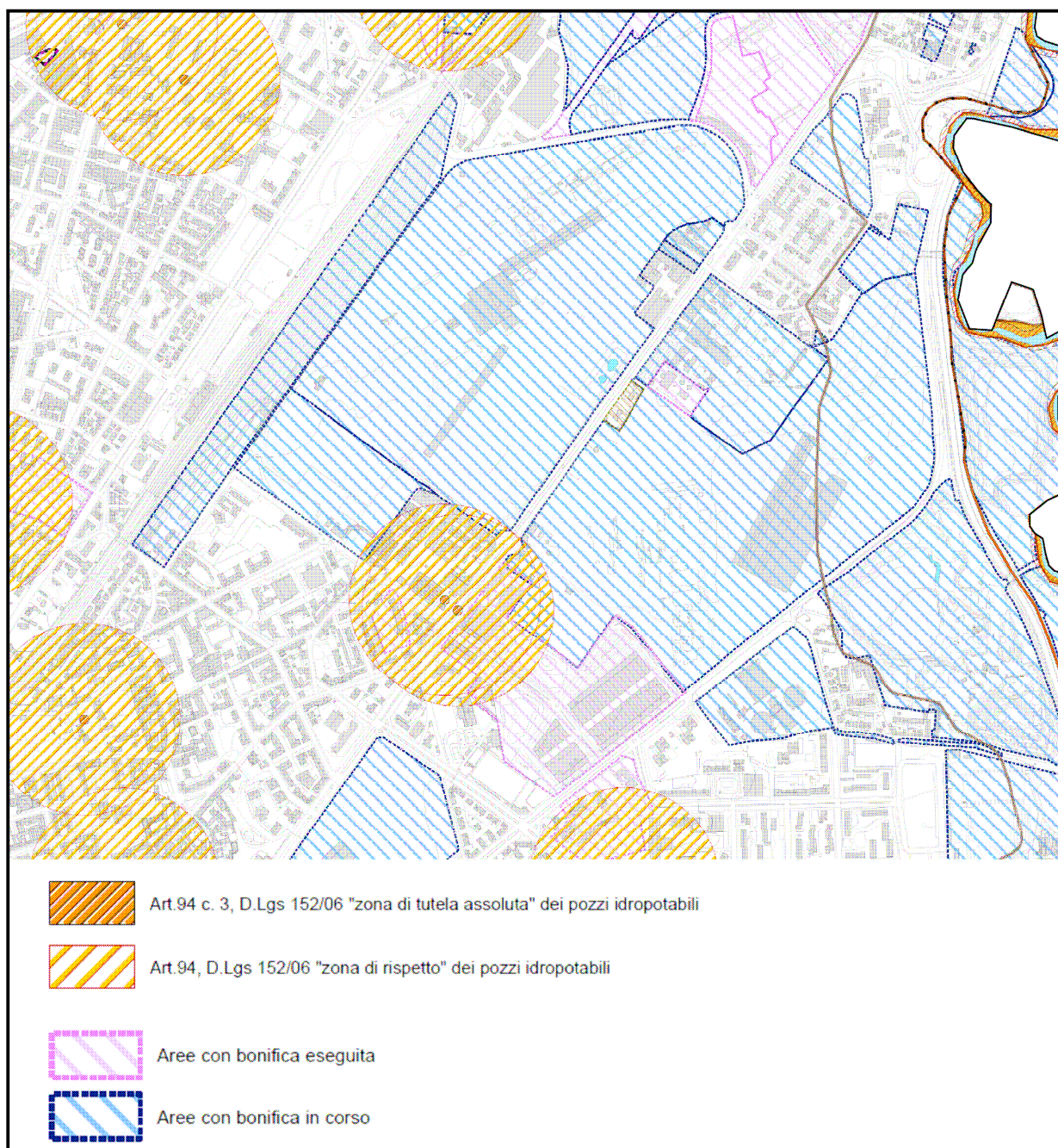
Per i Comuni ricadenti in zona sismica 4, nel caso di costruzione di nuovi edifici strategici e rilevanti ai sensi del D.D.U.O. n. 19904 del 21/11/2003 come nel caso in esame, negli scenari di pericolosità sismica locale Z3 e Z4 dovrà essere applicato, già in fase pianificatoria, il 2° livello di approfondimento. Tale studio viene affrontato nel capitolo successivo.



Tav. n. 3.3 – Estratto carta della pericolosità sismica locale dello studio geologico comunale (Basin – Dott. Geol. Luca Siena).

3.4 VINCOLI

Dall'analisi della carta dei vincoli dello studio geologico comunale si osserva che il comparto di interesse risulta essere parzialmente soggetto alle limitazioni relative alla presenza di aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile delimitate secondo il criterio geometrico (circonferenza di raggio 200 m, con centro nel punto di captazione).



Tav. n. 3.4 – Estratto carta dei vincoli dello studio geologico comunale (Basin – Dott. Geol. Luca Siena).

Queste aree devono essere sottoposte a vincoli e destinazioni d'uso tali da tutelare qualitativamente e quantitativamente la risorsa idrica captata (art. 94 comma 4 D.Lgs. 152/2006 e s.m.i.). In particolare nella zona di rispetto sono vietati l'insediamento dei seguenti centri di pericolo e lo svolgimento delle seguenti attività:

- a. dispersione di fanghi ed acque reflue, anche se depurati;
- b. accumulo di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi;
- c. spandimento di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi, salvo che l'impiego di tali sostanze sia effettuato sulla base delle indicazioni di uno specifico piano di utilizzazione che tenga conto della natura dei suoli, delle colture compatibili, delle tecniche agronomiche impiegate e della vulnerabilità delle risorse idriche;
- d. dispersione nel sottosuolo di acque meteoriche proveniente da piazzali e strade;
- e. aree cimiteriali;
- f. apertura di cave che possono essere in connessione con la falda;
- g. apertura di pozzi ad eccezione di quelli che estraggono acque destinate al consumo umano e di quelli finalizzati alla variazione della estrazione ed alla protezione delle caratteristiche quali-quantitative della risorsa idrica;
- h. gestione di rifiuti;
- i. stoccaggio di prodotti ovvero sostanze chimiche pericolose e sostanze radioattive;
- j. centri di raccolta, demolizione e rottamazione di autoveicoli;
- k. pozzi perdenti;
- l. pascolo e stabulazione di bestiame che ecceda i 170 chilogrammi per ettaro di azoto presente negli effluenti, al netto delle perdite di stoccaggio e distribuzione. E' comunque vietata la stabulazione di bestiame nella zona di rispetto ristretta.

Per gli insediamenti o le attività di cui ai punti precedenti, preesistenti, ove possibile e comunque ad eccezione delle aree cimiteriali, sono adottate le misure per il loro allontanamento: in ogni caso deve essere garantita la loro messa in sicurezza.

All'interno delle zone di rispetto le seguenti strutture od attività:

- a) fognature;
- b) edilizia residenziale e relative opere di urbanizzazione;
- c) opere viarie, ferroviarie ed in genere infrastrutture di servizio;

d)le pratiche agronomiche e i contenuti dei piani di utilizzazione di cui alla lettera c) del comma 5.

sono disciplinate dalla D.G.R. 10 aprile 2003, n. 7/12693: "Direttive per la disciplina delle attività all'interno delle aree di rispetto, art. 21, comma 6, del D.Lgs. 152/99 e successive modificazioni".

In particolare al fine di proteggere le risorse idriche captate il Comune dovrebbe favorire, nel proprio strumento di pianificazione, la destinazione della zona di rispetto dei pozzi a "verde pubblico", ad area agricola o ad usi residenziali a bassa densità abitativa.

Il comparto in esame è costituito da una vasta area dismessa contaminata che fa parte del Sito di Interesse Nazionale (SIN) individuato, ex L. n. 388/2000, con D.M. 31.8.2001 (in G.U. 26.10.2001), agli effetti dell'art. 252 del D.lgs. n. 152/2006, il cui progetto preliminare è stato approvato con Conferenza decisoria in data 24 luglio 2006.

Per tali aree in data 5 agosto 2011 è stato depositato presso il Ministero dell'Ambiente e presso tutti gli altri Enti e Soggetti coinvolti nella procedura, il progetto definitivo di bonifica.

In data 8 giugno 2012 la proprietà ha trasmesso il documento *"Addendum al Progetto Definitivo di bonifica dopo la Conferenza dei Servizi del 24 aprile 2012"* al fine di recepire le prescrizioni formulate dagli Enti nel corso della Conferenza dei Servizi citata.

A settembre 2012, in seguito alla DGRL IX/3666 del 2 luglio 2012, con la quale Regione Lombardia ha promosso l'Accordo di Programma che ha localizzato, su una porzione delle aree ex Falck, la cosiddetta Città della Salute e della Ricerca che ricade in parte in una zona per la quale il Progetto Definitivo di bonifica prevede il raggiungimento dei limiti previsti per aree ad uso verde/residenziale ed in parte su aree per le quali è prevista una bonifica con misure di sicurezza, la proprietà dell'area ha trasmesso un'ulteriore documento *"Addendum 2 al Progetto Definitivo di bonifica"*. Tale documento prevede testualmente *"la variazione degli obiettivi di bonifica indicati (...) al fine di garantire, per*

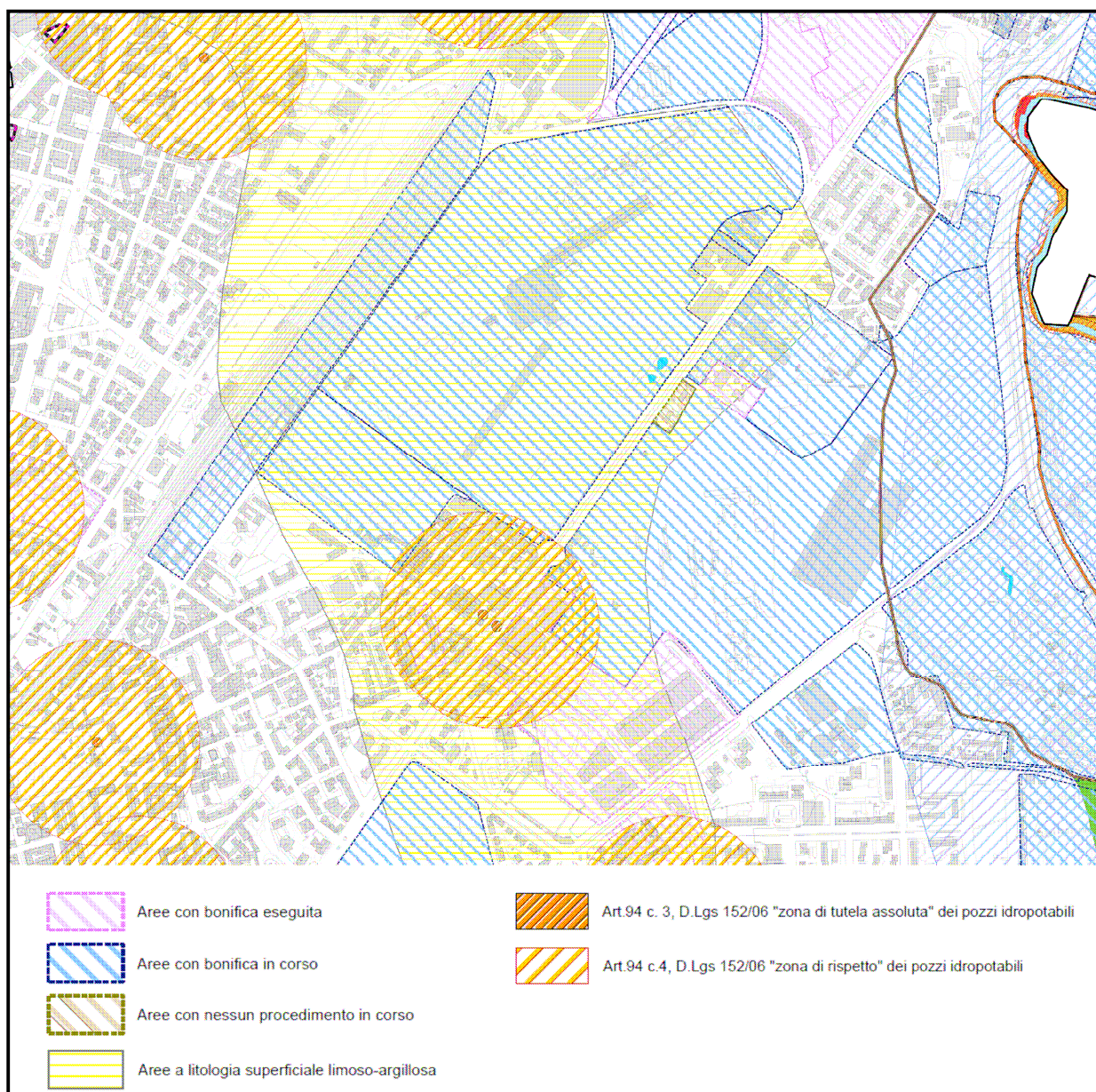
tutte le aree (incluse quelle di pertinenza) della struttura ospedaliera, la conformità ai limiti per aree a destinazione d'uso verde/residenziale (D.M. 471/99, allegato 1, tabella1/colonna A)".

L'istruttoria del Progetto definitivo di Bonifica si è quindi conclusa con una Conferenza decisoria in data 19 novembre 2012, di cui al Decreto Direttoriale del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare n. 3967 del 4 dicembre 2012.

3.5 SINTESI

Nella carta di sintesi vengono riassunti i principali fattori di pericolosità e vulnerabilità che caratterizzano il territorio comunale; in particolare sul comparto in esame ricadono i seguenti ambiti:

- aree con bonifica in corso;
- aree a litologia superficiale limoso argillosa;
- zona di rispetto dei pozzi idropotabili.



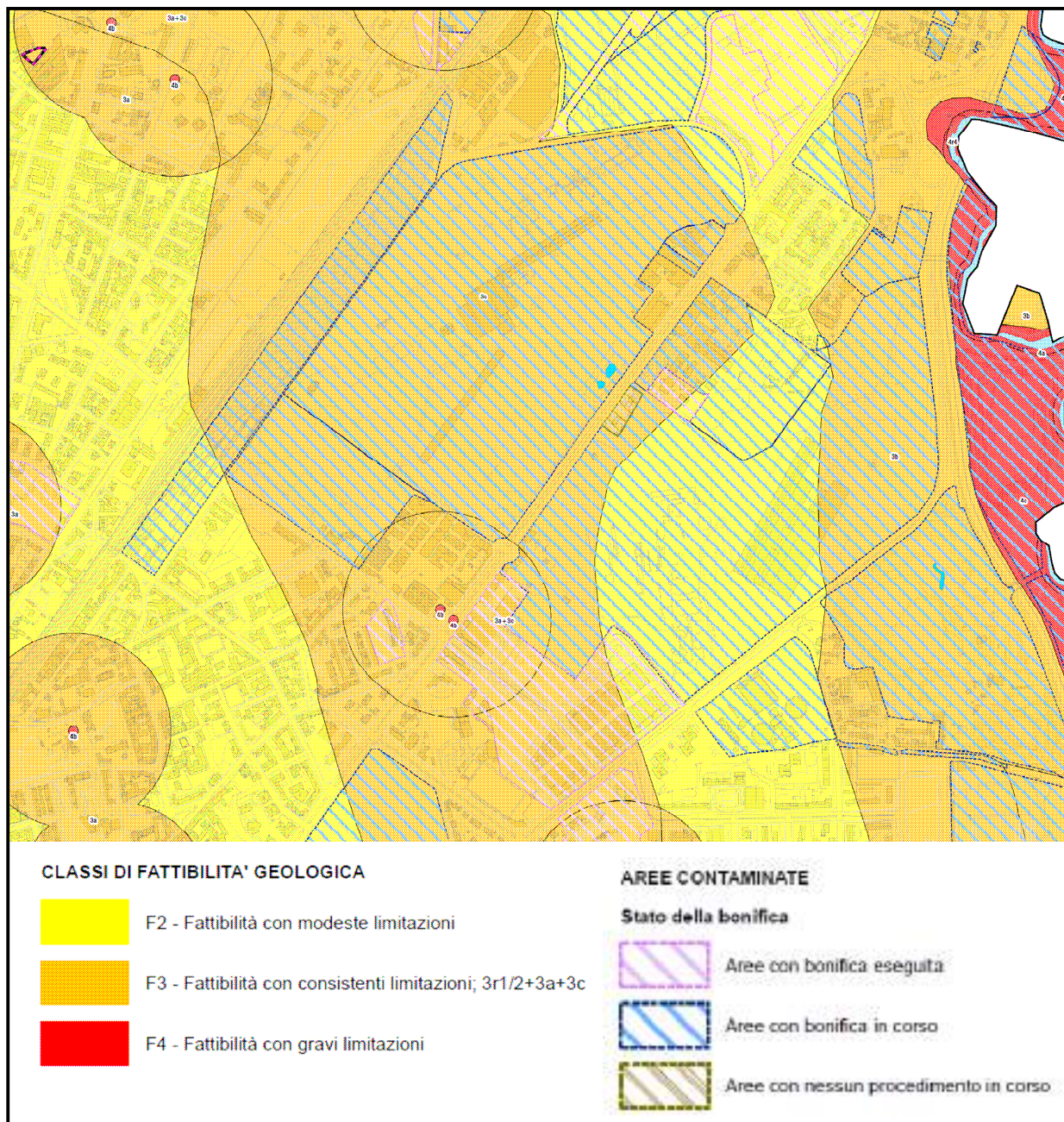
Tav. n. 3.5 – Estratto carta di sintesi dello studio geologico comunale (Basin – Dott. Geol. Luca Siena).

3.6 FATTIBILITÀ GEOLOGICA

Il comparto oggetto di indagine risulta compreso in parte in classe di fattibilità con modeste limitazioni (F2) ed in parte in classe di fattibilità con consistenti limitazioni (F3).

Le aree incluse in classe di fattibilità 3 appartengono alle sottoclassi:

- 3a – Aree interessate dalla fascia di rispetto delle captazioni ad uso idropotabile.
- 3c – Aree che presentano in superficie materiali con caratteristiche geotecniche potenzialmente scadenti.



Tav. n. 3.6 – Estratto carta di fattibilità dello studio geologico comunale (Basin – Dott. Geol. Luca Siena).

Nelle aree comprese in **classe di fattibilità con modeste limitazioni (classe 2)** sono ammissibili tutte le categorie di opere edificatorie, fatto salvo l'obbligo di verifica della compatibilità geologica e geotecnica ai sensi delle nuove norme tecniche per le costruzioni, per tutti i livelli di progettazione previsti per legge.

In caso di edifici che prevedano la realizzazione di piani interrati, sarà necessaria l'acquisizione di un parere geologico-idrogeologico preventivo, finalizzato alla verifica della compatibilità delle previsioni di progetto con lo stato dei luoghi.

Lo studio geologico del territorio comunale (Basin – Dott. Geol. Luca Siena, ottobre 2012) prescrive inoltre di:

a) curare il sostegno o il rimodellamento degli sbancamenti, anche di modesta entità, su basse pendenze (max. 35 gradi);

b) preferire opere di sostegno e controripa altamente drenanti (gabbioni, terre armate) o comunque prevederne un accurato drenaggio a tergo;

c) garantire la regimazione delle acque sulle aree impermeabilizzate o denudate (strade, piazzali, piste, scarpate), curando altresì l'immediato rinverdimento di queste ultime;

d) curare il drenaggio di scavi e sbancamenti, con l'eventuale bonifica di terreni imbibiti presenti al contorno dell'area di intervento. Prevedere comunque la capillare raccolta delle acque drenate, che andranno convogliate verso la rete fognaria o gli impluvi naturali stabili;

e) verificare che i pozzetti siano sempre in perfetta efficienza, coperti da chiusino o griglia che impedisca l'accidentale o deliberata immissione di materiale in grado di intasarne la sezione;

f) evitare di addurre alla superficie acque di falda intercettate nel corso di scavi o sbancamenti, senza prevedere adeguati sistemi di regimazione del loro deflusso;

g) limitare al minimo gli spandimenti irrigui, in particolare nelle aree già per loro natura imbibite e soprattutto nelle vicinanze delle aree in dissesto, particolarmente vulnerabili, curando la manutenzione della rete di drenaggio la cui funzionalità andrà garantita nel tempo;

h) prevedere per le aree destinate ad insediamenti produttivi, in particolare ove ipotizzabile lo stoccaggio e/o la presenza di rifiuti e materie prime pericolose nel ciclo produttivo, la predisposizione di sistemi di controllo ambientale;

Per le aree comprese in **classe di fattibilità con consistenti limitazioni (classe 3)**, la progettazione e la realizzazione di nuove infrastrutture, edificazioni, ristrutturazioni con sopraelevazioni e/o ampliamenti dell'esistente e che comportino variazioni dei carichi trasmessi dovranno essere attentamente valutate alla luce di specifici studi geologi e geotecnici, con riferimento alle problematiche riconosciute nella Carta di Fattibilità.

Oltre a quanto previsto per le aree ricadenti nella Classe 2 lo studio geologico comunale prescrive di:

a) nelle aree più acclivi, evitare opere estese continue e rigide, più vulnerabili a eventuali movimenti differenziali del terreno, inserendo giunti di separazione o giunti elastici che consentano l'adattamento dell'opera (ove compatibile con la sua funzionalità) ai eventuali cedimenti del terreno;

b) preferire quindi, ove possibile, opere di forma compatta e ridotte dimensioni, per le quali sarà preferibile irrigidire la struttura, uniformando i cedimenti. Nelle ristrutturazioni e ampliamenti, evitare quindi legami rigidi tra vecchie e nuove strutture accostate;

c) evitare opere che comportino la realizzazione di importanti scavi o accumuli di terreno e limitare i carichi imposti, bilanciando i volumi sbancati ed i riporti. Andrà quindi verificato che l'intervento operato non muti sostanzialmente la situazione geostatica della zona;

d) procedere agli scavi di una certa importanza per campioni di pochi metri;

e) richiedere particolare attenzione nel controllo delle modalità di esecuzione dei lavori;

In particolare per quanto riguarda gli interventi ricadenti nelle aree di rispetto delle captazioni ad uso idropotabile si dovrà fare riferimento a

quanto prescritto dalla D.G.R. 10 aprile 2003 n.7/12693 e dall'art 94 comma 4 del D.lgs 152/06.

4 APPROFONDIMENTO DI 2° LIVELLO

Per i Comuni ricadenti in zona sismica 4 tale livello di approfondimento deve essere applicato, nelle aree PSL Z3 e Z4, nel caso di costruzioni strategiche e rilevanti ai sensi della D.G.R. n. 14964/2003 e del D.D.U.O. 21/11/2003 n. 19904 (come nel caso dell'Accordo di Programma in esame).

La procedura semplificata descritta nell'allegato 5 della D.G.R. n. 9/2616 del 30 novembre 2011 richiede la conoscenza della stratigrafia del sito e dell'andamento delle Vs (velocità onde di taglio) con la profondità fino a valori pari o superiori a 800 m/s. Tali dati sono stati desunti dalla bibliografia disponibile (analisi indagini geognostiche effettuate sul comparto) o ricavati tramite la realizzazione di una apposita campagna di indagini (n. 4 stendimenti sismici secondo la metodologia MASW e n. 4 stazioni di misura di microtremori a stazione singola con elaborazione HVSR).

4.1 INDAGINE SISMICA MASW

La prova MASW, messa a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999) permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh.

L'analisi delle onde superficiali è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione disposta sul terreno secondo un array lineare da 24 geofoni con spaziatura pari a 1,5 m.



Fig. n. 4.1 – Ubicazione delle indagini sismiche realizzate.

Per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, oltre ad utilizzare geofoni da 4,5 Hz, è stato utilizzato un sismografo a 24 bit.

Nell'esecuzione della prova MASW attiva è stato utilizzato come sistema di energizzazione una mazza di 8 Kg battente su piattello metallico. Per aumentare il rapporto segnale/rumore si è proceduto alla somma di più energizzazioni (processo di stacking).

La sorgente è stata posta ad una distanza compresa tra 6 e 12 m dal primo geofono effettuando più energizzazioni in punti differenti ("Optimum Field Parameters of an MASW Survey", Park C.B. et al., 2005; Dal Moro G., 2008; Dal Moro G., 2012).

Di seguito si riassumono le principali caratteristiche della strumentazione utilizzata ed i criteri di acquisizione della prova MASW attiva.

n°	Strumentazione	Caratteristiche
1	Unità di acquisizione	sismografo GEOMETRICS "GEODE" a 24 bit
24	Geofoni verticali	"Geospace" con $f_0 = 4,5$ Hz
2	Cavi sismici	L = 120 m
1	Sorgente	Mazza battente su piattello metallico

Riassunto modalità esecutive della prova MASW ATTIVA	
Spaziatura tra i geofoni	1,5 m
Distanza sorgente 1°geofono	6 - 12 m
Tempo di campionamento	1,0 ms
Tempo di registrazione	2,0 s

4.1.1 Elaborazione dati e risultati

I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC e convertiti in un formato compatibile (KGS format file) per l'interpretazione attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (SurfSeis 2.0 della Kansas University).

L'analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale "*phase velocity-frequency (c-f)*" che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica.

Gli spettri bidimensionali ottenuti dalle registrazioni con il metodo attivo e con quello passivo, elaborati in fasi separate, vengono successivamente combinati in modo da ottenere uno spettro unico.

In questo grafico è possibile distinguere il "modo fondamentale" delle onde di superficie, in quanto le onde di Rayleigh presentano un carattere marcatamente dispersivo che le differenzia da altri tipi di onde (onde riflesse, onde rifratte, onde multiple).

Sullo spettro di frequenza viene eseguito un "picking" attribuendo ad un certo numero di punti una o più velocità di fase per un determinato numero di frequenze.

Tali valori vengono successivamente riportati su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello interpretativo.

Variando la geometria del modello di partenza ed i valori di velocità delle onde S si modifica automaticamente la curva calcolata di dispersione fino a conseguire un buon "fitting" con i valori sperimentali.

L'analisi dello spettro bidimensionale c-f consente in questo modo di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio V_s in funzione della profondità.

Dall'inversione della curva di dispersione si ottiene il modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, rappresentativo dell'area investigata.

Nella seguente figura vengono riportati gli andamenti delle V_s con la profondità ricavati dai quattro stendimenti realizzati.

Shear-Wave Velocity Profile from Surface waves inversion

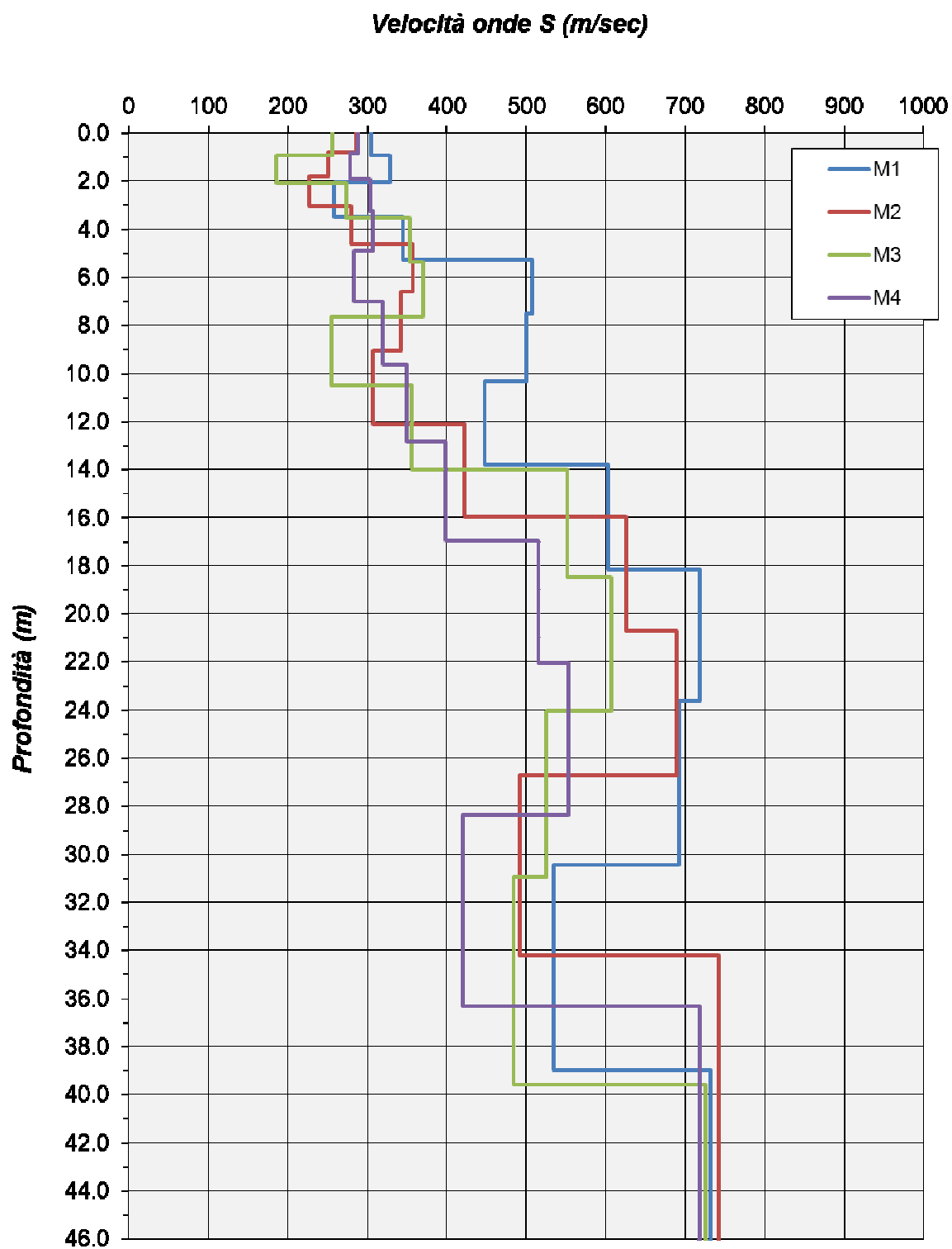


Fig. n. 4.2 - Andamento delle V_s con la profondità.

Nella citata campagna di indagini geognostiche realizzata in passato nel comparto in esame (*"Ambiente S.C."*, 30/06/2011) è stata effettuata una prospezione sismica in foro (downhole) che ha portato alla definizione di un profilo Vs – profondità molto simile a quello ricavato tramite l'indagine MASW effettuata nel corso del presente studio.

4.1.2 Categoria di sottosuolo

A partire dai modelli sismici monodimensionali ricavati dall'indagine MASW (*Fig. n. 6*) è stato possibile calcolare il valore delle $V_{s,30}$ che rappresenta la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità (per fondazioni superficiali tale profondità è riferita al piano di imposta; per fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali).

Per il calcolo delle $V_{s,30}$ si fa riferimento all'espressione riportata nel D.M. 14.01.2008 (*"Norme Tecniche per le Costruzioni"*):

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n \frac{H_i}{V_{s_i}}}$$

dove H_i e V_{s_i} indicano lo spessore e la velocità delle onde di taglio dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei primi 30 m di profondità.

Dall'applicazione della formula, considerando come riferimento il piano campagna attuale sono state calcolate le seguenti velocità equivalenti ($V_{s,30}$):

- MASW 1: 508 m/s.
- MASW 2: 413 m/s.
- MASW 3: 394 m/s.
- MASW 4: 391 m/s.

Sulla base della classificazione proposta dal D.M. 14.01.2008 i terreni che costituiscono il substrato dell'area Dell'Accordo di Programma appartengono alla **categoria di sottosuolo di riferimento B**: *"Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30 m,*

caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina)".

Categoria	Descrizione del profilo stratigrafico	Parametri		
		V_{s30} (m/s)	N_{SPT}	C_u (kPa)
A	<u>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</u> , 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	> 800	-	-
B	<u>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</u> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	360-800	>50	>250
C	<u>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</u> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	180-360	15-50	70-250
D	<u>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</u> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	<180	<15	<70
E	<u>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</u> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).			
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di V_{s30} inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3m di torba o di argille altamente organiche.			
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o <u>qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti</u> .			

Tab. n. 4.1 - Categorie di suolo di fondazione (D.M. 14.01.2008).

4.2 INDAGINE GEOFISICA HVSR

Descrizione del metodo e della strumentazione utilizzata

La sismica passiva si basa sulla misura dei microtremori che sono sempre presenti sulla superficie terrestre e sono generati da fenomeni naturali (vento, onde marine) ed artificiali (attività antropiche). Si chiama microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo vicino (valori dell'ordine di 10^{-15} [m/s²]).

Lo strumento utilizzato per tali misurazioni è un sensore *Lennartz 3DLite*, appositamente progettato per l'acquisizione del rumore sismico, di dimensioni molto contenute, costituito da tre sensori elettrodinamici ortogonali (velocimetri) della frequenza propria di 1 Hz.

Tale sensore è collegato ad una scheda di acquisizione *National Instruments* a 24 bit con la possibilità di impostare diverse funzioni (filtri, sensibilità, frequenza di campionamento, trigger, ecc...)

Il metodo di indagine utilizzato è quello dei rapporti spettrali a stazione singola (HVSR o metodo di "Nakamura"; Nakamura 1989).

Il metodo HVSR consiste nello studio del rapporto spettrale tra le componenti orizzontali del rumore e quella verticale (spettro H/V).

Il valore di tale rapporto è direttamente correlato con la frequenza di risonanza determinata dal passaggio tra due strati con una differenza significativa del contrasto di impedenza (velocità delle onde sismiche e densità del materiale).

La tecnica HVSR è pertanto in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli. Infatti i "picchi" che caratterizzano il rapporto H/V dipendono unicamente dalla stratigrafia del terreno e non dalle sorgenti di rumore (Castellaro S. et al. 2007).

Di seguito si riassumono i principali criteri di acquisizione delle misure HVSR effettuate:

Riassunto modalità esecutive delle prove HVSR	
<i>Frequenza di campionamento</i>	<i>200 Hz</i>
<i>Lunghezza registrazione</i>	<i>30 minuti</i>
<i>Filtro in acquisizione</i>	<i>nessuno</i>

Elaborazione dati

I dati sperimentali acquisiti sono stati trasferiti su PC ed analizzati con l'apposito software G-SESAME, sviluppato nell'ambito del progetto scientifico internazionale SESAME (*Site EffectS assessment using AMbient Excitations* 2002-2004).

La procedura di analisi dei dati consta nelle seguenti fasi (Lermo J., F.J. Chávez-García "Site effect evaluation using spectral ratios with only one station", Bull. Seism. Soc. Am 1993; Bard P.-Y. *Extracting information from ambient seismic noise: the SESAME project* - 2002; Castellano et al. 2005):

- Estrazione delle finestre di rumore con lunghezza pari a 30 sec con le migliori caratteristiche di stazionarietà basandosi sull'algoritmo di trigger STA/LTA e rimozione delle finestre con rapporto STA/LTA (media a breve termine/media a lungo termine) superiore a 2;
- rimozione manuale di eventuali eventi transienti ancora presenti;
- eliminazione del trend e applicazione di un taper tipo Hanning al 5%;
- trasformata di Fourier (FFT) e calcolo spettro di ampiezza per ciascuna finestra;
- lisciamento (smoothing) dello spettro tipo *Konno-Ohmachi*;
- calcolo dello spettro medio per le componenti orizzontali;
- calcolo dei rapporti spettrali H/V;

La funzione HVSR finale o più semplicemente H/V è data dalla media degli HVSR di ciascuna finestra.

Di seguito si riportano le curve H/V elaborate:

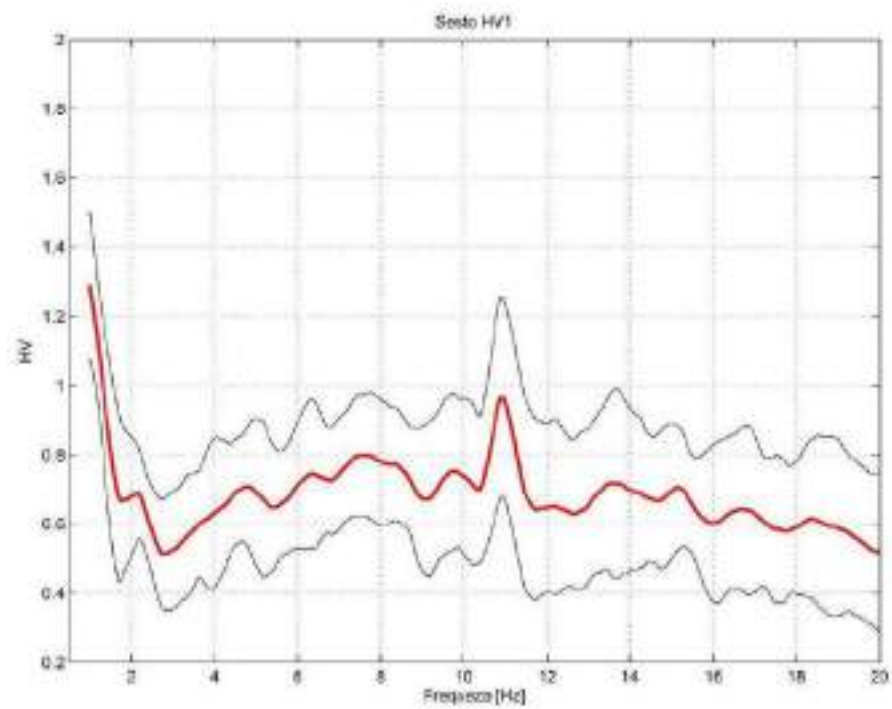


Fig. n. 4.3 - Funzione HVSR sperimentale - HV1.

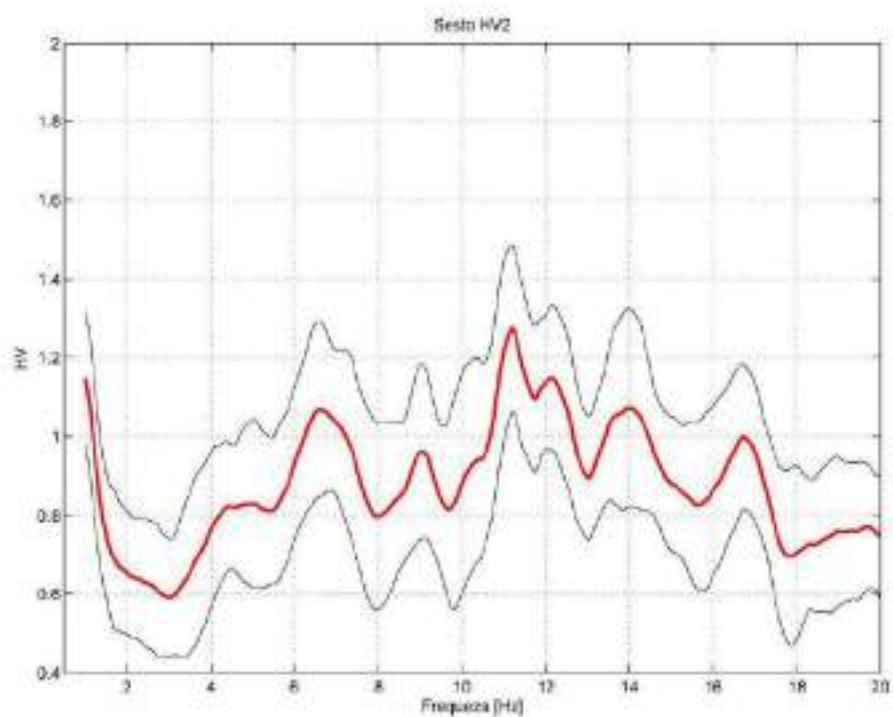


Fig. n. 4.4 - Funzione HVSR sperimentale - HV2.

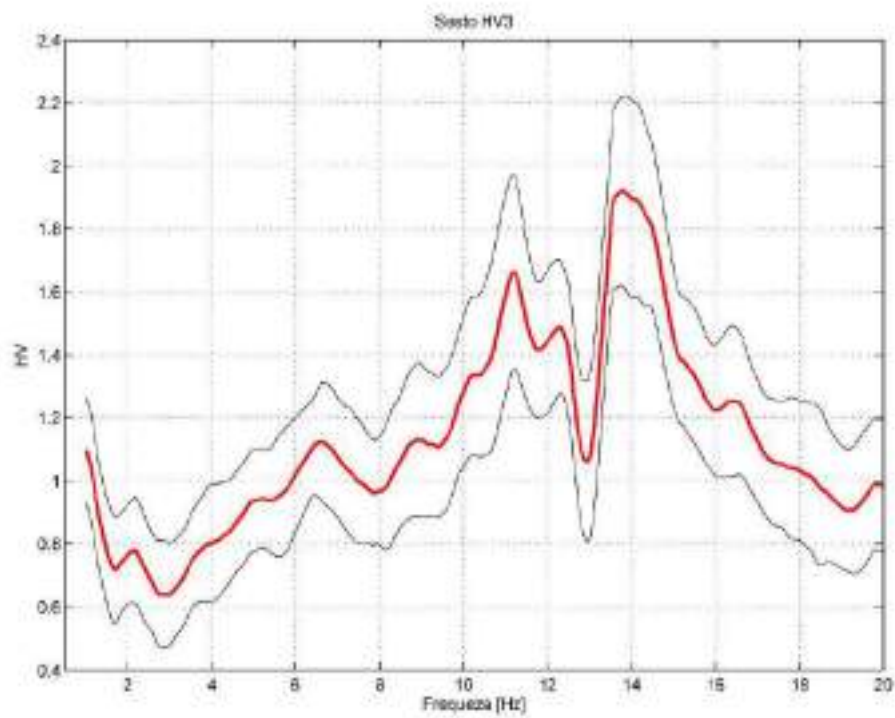


Fig. n. 4.5 - Funzione HVSR sperimentale – HV2.

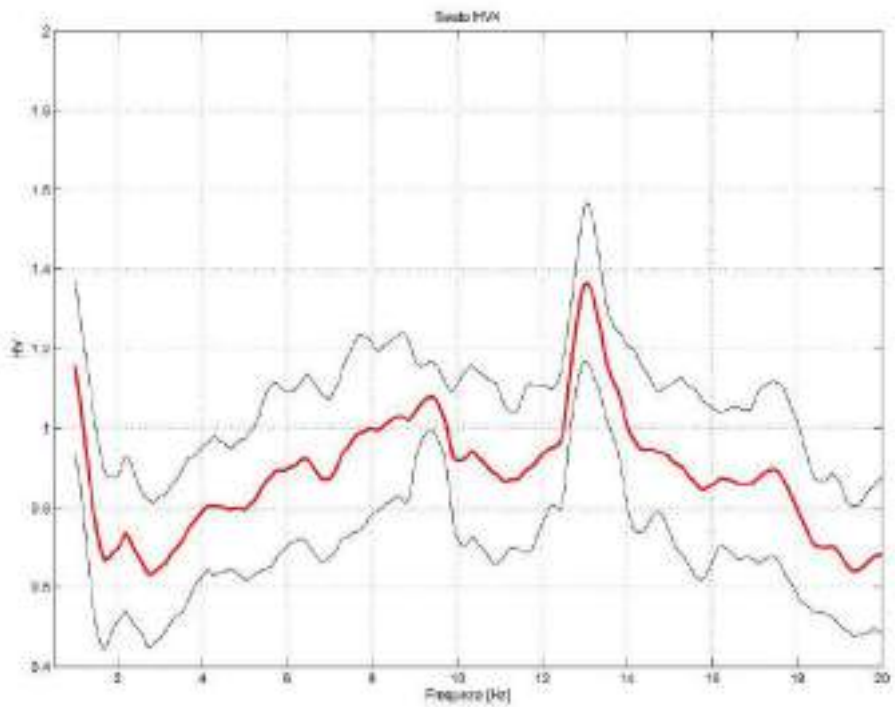


Fig. n. 4.6 - Funzione HVSR sperimentale – HV2.

Dall'osservazione delle curve H/V si nota l'assenza di un picco principale ben localizzato ma piuttosto la presenza di picchi locali posti oltre i 6 Hz.

Poiché la frequenza di risonanza dipende dallo spessore H e dalla velocità "media" (V_{s1}) delle onde S , è possibile ricavare, nota F_0 e V_{s1} , la profondità del "contatto litologico" secondo la seguente equazione (Albarello D., 2012):

$$F_0 = \frac{V_{s1}}{4H}$$

Ipotizzando una velocità media delle onde di taglio V_{s1} compresa tra 250 e 350 m/s (vedi prospezioni MASW effettuate), si ricava che i picchi riconosciuti possono essere associati a possibili contatti litologici superficiali entro i primi 10-15 m (vedi figura 6).

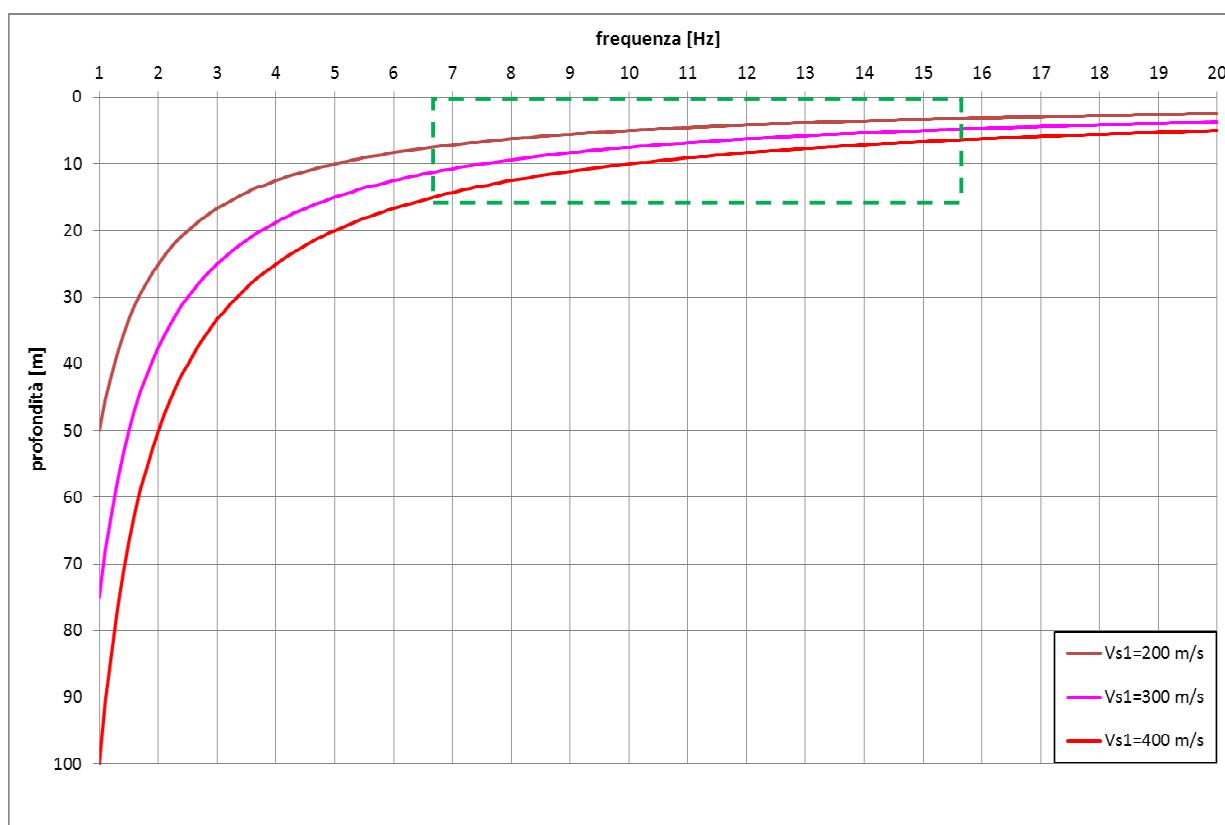


Fig. n. 4.7 - Andamento della profondità del contatto litologico in funzione della velocità media delle onde S .

4.3 FATTORE DI AMPLIFICAZIONE

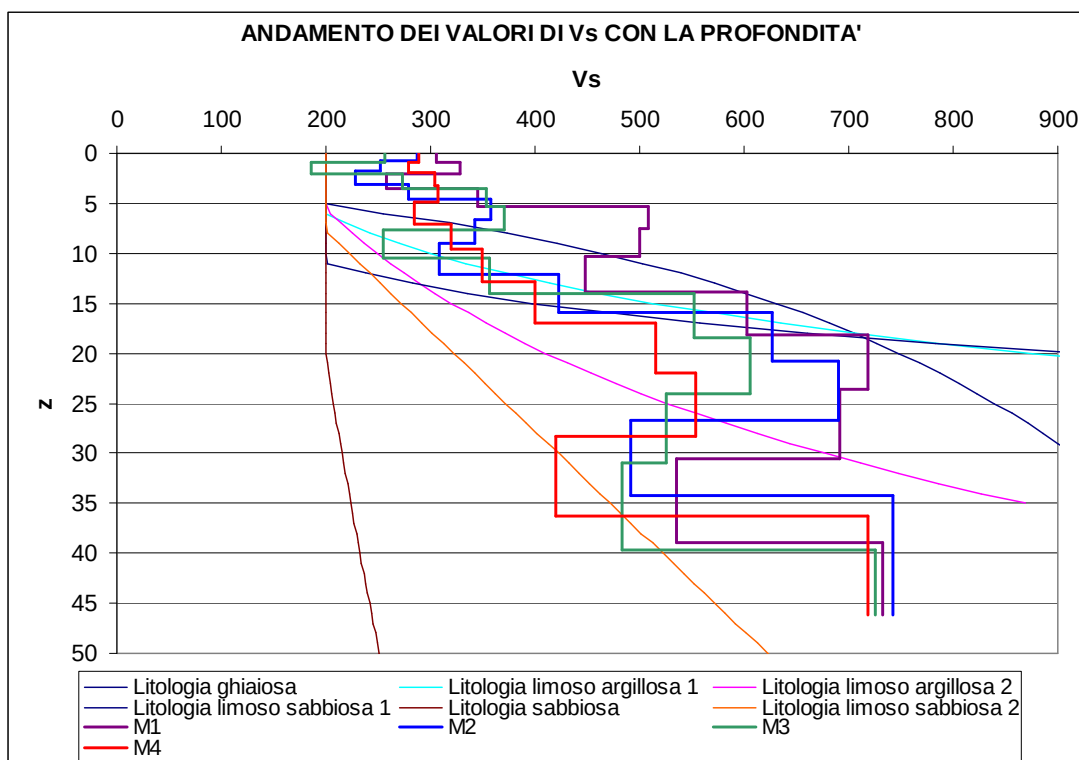
La procedura di secondo livello consiste in un approccio semiquantitativo e fornisce la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di fattore di amplificazione (F_a).

Per l'analisi degli effetti litologici si segue, per ognuno dei quattro stendimenti sismici realizzati, la procedura descritta nell'Allegato 5 della D.G.R. n. 9/2616 del 30-11-11.

Il piano di riferimento per i successivi calcoli è assunto pari all'attuale piano campagna.

1. Scelta della scheda di valutazione di riferimento

In base all'andamento delle V_s con la profondità ricavato dalle indagini con metodologia MASW si è verificata la validità della scheda per litologia limoso - sabbiosa di tipo 2 per la quale le curve V_s - z sperimentali sono interamente comprese nel campo di validità.



2. Scelta della curva T-Fa

Sulla base dello spessore e della velocità dello strato superficiale, per ciascuno stendimento, è stata identificata la curva di riferimento per il calcolo del fattore di amplificazione (curva 3):

- MASW 1: profondità = 5,28 m; velocità = 307 m/s → curva 3.
- MASW 2: profondità = 4,63 m; velocità = 258 m/s → curva 3.
- MASW 3: profondità = 3,55 m; velocità = 234 m/s → curva 3.
- MASW 4: profondità = 7,01 m; velocità = 293 m/s → curva 3.

3. Calcolo del periodo proprio del sito

Il calcolo considera tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità V_s è uguale o superiore a 800 m/s con la seguente formula:

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

Si ottengono così valori del periodo proprio del sito compresi tra 0,32 e 0,38 s.

4. Determinazione del fattore di amplificazione

Dall'applicazione delle formule o dalla lettura del grafico si ottengono i seguenti valori di Fattore di amplificazione per i due periodi tipici 0,1-0,5 s (strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide) e 0,5-1,5 s (strutture più alte e più flessibili):

Punto di indagine	Fa	
	0,1-0,5 s	0,5-1,5 s
MASW 1	1,80	1,30
MASW 2	1,82	1,32
MASW 3	1,82	1,36
MASW 4	1,82	1,37

5. Confronto con i valori soglia calcolati dalla Regione per il Comune di Sesto San Giovanni.

Nella tabella sottostante sono riportati i valori soglia calcolati dalla Regione Lombardia per il territorio comunale:

Categorie di suolo	Valori soglia			
	B	C	D	E
Periodo 0,1 – 0,5 s	1,4	1,8	2,2	2,0
Periodo 0,5 – 1,5 s	1,7	2,4	4,2	3,1

Nel caso di intervalli di periodo tra 0,1 e 0,5 s, che si riferiscono a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide si registrano valori di F_a superiori alla soglia calcolata dalla Regione Lombardia, per suoli appartenenti alla categoria B.

La normativa nazionale (D.M. 14 gennaio 2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni") non è quindi sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione locale dovuta alla litologia.

In fase di progettazione edilizia si dovranno effettuare analisi più approfondite (3° livello) o utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore. Nel caso in esame potrà essere utilizzato lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo D, che presenta un valore soglia del fattore di amplificazione superiore a quello calcolato ($1,80-1,82 < 2,2$).

Si sottolinea che i calcoli effettuati rappresentano una stima preliminare del fattore di amplificazione che dovrà essere verificato sulla base di elementi progettuali attualmente non disponibili (tipologia edilizia, geometria delle strutture di fondazione, etc.).

5 CONCLUSIONI

Sulla base degli elementi geologici, geomorfologici ed idrogeologici desunti dallo studio geologico comunale e descritti nei capitoli precedenti si assevera la congruità tra le previsioni progettuali relative alle porzioni della stazione, dell'ex scalo ferroviario e degli ex comparti Unione, Concordia e Trai delle Acciaierie Falck comprese nelle ATs1 e Ats2 e la fattibilità geologica del comparto in esame.

Lo studio di approfondimento sismico di 2° livello ha permesso di stimare un fattore di amplificazione compreso tra 1,80 e 1,82 che risulta superiore alla soglia definita dalla Regione Lombardia per suoli di tipo B nel territorio comunale di Sesto San Giovanni (1,4). La normativa nazionale (D.M. 14 gennaio 2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni") non è quindi sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione locale dovuta alla litologia.

In fase di progettazione edilizia si dovranno effettuare analisi più approfondite (3° livello) o utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore.