



"Indagine di fattibilità geologica, modellazione geotecnica, caratterizzazione sismica locale, verifica della compatibilità idraulica e considerazioni sulle misure volte al perseguimento di Invarianza Idraulica (L.R. 22/2011 art.10) per il progetto di un Piano di Recupero Urbano con demolizione, ricostruzione e parziale ristrutturazione di edifici con ampliamento ed accorpamento in un unico complesso edilizio da realizzare tra via Settembrini, via Galliano e via Palermo, nel comune di Porto San Giorgio (FM)".

*Committente: L.B.Immobiliare srl, Angelo e Maria Laura Brugnoni*

## INDICE

1.1	PREMESSA E METODOLOGIA DI ANALISI.....	pag. 2
1.2	CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE.....	pag. 6
1.3	CARATTERISTICHE GEOLOGICHE.....	pag. 7
1.4	CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE.....	pag. 9
1.5	CARATTERISTICHE LITOTECNICHE E GEOMECCANICHE .....	pag. 10
1.6	VERIFICA DI COMPATIBILITA' IDRAULICA.....	pag. 12
1.7	INVARIANZA IDRAULICA.....	pag. 24
1.8	CARATTERISTICHE SISMICHE DELL'AREA .....	pag. 24
1.9	FATTIBILITA' GEOLOGICA .....	pag. 27
1.10	CONCLUSIONI.....	pag. 28

La presente relazione è composta da n° 29 pagine e dai seguenti allegati:

### ALLEGATI

TAV.A	CARTA IGM rilievo 1984 scala 1:25 000
TAV.B	COROGRAFIA scala 1:10 000
TAV.C	COROGRAFIA foto satellitare
TAV.1	CARTA GEOLOGIA E GEOMORFOLOGICA scala 1:5000
TAV.RI60a	Cartografia PAI Regione Marche
TAV.2	PLANIMETRIA scala 1:500
N° 2	RISULTANZE PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SUPER PESANTI
TAV.3	CARTA LITOLOGICO-TECNICA scala 1:500
TAV.4	CARTA IDROGEOLOGICA scala 1:1000
TAV.5	CARTA DELLE PERICOLOSITA' GEOLOGICHE scala 1:500
TAV.6	CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE scala 1:500
TAV.7	CARTA MICROZONAZIONE SISMICA (N.T.C. D.M. 14 Gennaio 2008) scala 1:500
TAV.8	CARTA DELLA FATTIBILITA' GEOLOGICA scala 1:500
TAV.9	SEZIONE GEOLOGICA e LITOLOGICO-TECNICA scala 1:200
TAV.1	PLANIMETRIA aree inondabili su base storica e aree di pertinenza fluviale scala 1:5 000
TAV.1	PLANIMETRIA aree inondabili su base storica e aree di pertinenza fluviale scala 1:2 000
TAV.2	BACINO IDROGRAFICO FOSSO

TAV.3 PLANIMETRIA Tracciato fosso Area di interesse scala 1:1 000

TAV.3 DATI PLUVIOMETRICI stazione Porto Sant'Elpidio

N.10 TAVOLE Sezioni idrauliche

TAV.6 PROFILO IDRAULICO risultati verifica

N.4 PROFILO IDRAULICO 3D risultati verifica

TAV.10 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

#### APPENDICE

N.° 1 RISULTANZE INDAGINE SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA MEDIANTE TECNICA DEI RAPPORTI SPETTRALI HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)

#### ALLEGATI FUORI TESTO

-ASSEVERAZIONE SULLA COMPATIBILITA'IDRAULICA

-COPIA DOCUMENTO DI IDENTITA'

## 1.1 PREMESSA E METODOLOGIA D'ANALISI DELL'AREA

Su richiesta di *L.B. Immobiliare Italia s.r.l., Angelo e Maria Laura Brugnoni*, è stata espletata una indagine di fattibilità geologica, modellazione geotecnica, caratterizzazione sismica locale, verifica della compatibilità idraulica e considerazioni sulle misure volte al perseguimento di Invarianza Idraulica (L.R. 22/2011 art.10) per il progetto di un Piano di Recupero Urbano con demolizione, ricostruzione e parziale ristrutturazione di edifici con ampliamento ed accorpamento in un unico complesso edilizio da realizzare tra via Settembrini, via Galliano e via Palermo, nel comune di Porto San Giorgio (FM)".

Viste le caratteristiche geologiche e geomorfologiche del sito, si è ritenuto utile estendere lo studio per un intorno ritenuto significativo, al fine di risalire alle caratteristiche litologiche e all'assetto geo-strutturale del territorio, unitamente all'individuazione dei processi morfogenetici che lo interessano. In particolare, l'analisi geomorfologica di dettaglio, espletata attraverso l'osservazione delle forme e gli eventuali depositi ad esse connessi, ha permesso di ricostruire il quadro morfogenetico dell'area in esame e di

formulare delle ragionevoli previsioni sulle tendenze evolutive future in relazione sia alle caratteristiche lito-stratigrafiche, che alla dinamica geomorfologica.

Inoltre lo studio è stato condotto nel rispetto di quanto previsto dalla Legge Regionale Marche n.22 art. 10, comma 4, del 23 Novembre 2011 e secondo quanto dettato dai “*Criteri, modalità e indicazioni tecnico-operative per la redazione della verifica di compatibilità idraulica degli strumenti di pianificazione territoriale e per l’invarianza idraulica delle trasformazioni territoriali*” (BUR Marche n.19 del 17/02/2014), facendo, inoltre riferimento, alle *linee guida* redatte dall’Autorità di Bacino della Regione Marche, nel Marzo 2014, recanti indicazioni e suggerimenti per la corretta stesura della V.C.I. e della V.I.I. L’analisi eseguita ha lo scopo di verificare la compatibilità, rispetto alla situazione attuale relativa al rischio idraulico del sito, delle opere previste dal progetto di trasformazione dell’uso del suolo e dalle potenziali alterazioni del regime idraulico indotte dallo stesso sull’area circostante. Inoltre sono state valutate le variazioni di permeabilità superficiale del piano urbanistico in questione in condizioni *post operam* rispetto alla situazione attuale del sito, al fine di definire le misure compensative volte al perseguimento dell’invarianza idraulica complessiva in corrispondenza dell’area di studio, tutelando quindi il reticolo idrografico esistente e/o il corpo idrico ricevente, da un aggravio di carico idraulico dovuto all’urbanizzazione.

Per l’espletamento dell’incarico ricevuto, lo studio morfologico è stato condotto con particolare riferimento alle forme ed ai processi legati al reticolo idrografico superficiale, agli aspetti geo-idrogeologici, considerando le forme antropiche presenti nell’intorno del sito analizzato, quali urbanizzazioni intensive, presenza di riporti ed alterazioni del reticolo di drenaggio esistente, vie di comunicazione ecc.... Lo studio è proseguito con l’esecuzione di una ricerca storica, riguardo le problematiche connesse all’aspetto idraulico e nello specifico sulle eventuali esondazioni verificatesi in passato nell’area oggetto di studio, attraverso una ricerca bibliografica dei dati esistenti (*cartografie storiche, documentazioni fotografiche ecc.*) e facendo riferimento alle testimonianze orali raccolte sul posto. Inoltre è stata condotta una **verifica completa di compatibilità idraulica** (III livello Analisi Idrologica-Idraulica) dell’area progetto in questione, espletata attraverso l’analisi idrologica-idraulica del *fosso completamente antropizzato* presente al di sotto di via Settembrini, che rappresenta l’unico elemento idrografico di possibile influenza verso il sito in esame. L’analisi idrologica-idraulica è stata condotta attraverso un’analisi idrologica e verifiche idrauliche lungo un tratto



considerato significativo del *fosso in esame*, considerando la portata di massima dello stesso, calcolata con un tempo di ritorno (TR) di 200 anni.

La modellazione idraulica e le verifiche sono state eseguite mediante uso di software specifici, in particolar modo la simulazione della propagazione dell'onda di piena lungo il reticolo idraulico considerata è stata condotta utilizzando il programma *HEC-RAS* sviluppato da "Hydrologic Engineering Center" del US Army Corps of Engineers (USA), che ha permesso di determinare l'altezza dei livelli idrici nelle varie sezioni reali considerate per le diverse portate ipotizzate, evidenziando quindi le possibili criticità del reticolo stesso per i diversi tempi di ritorno e/o per differenti condizioni al contorno.

I dati pluviometrici utilizzati per il calcolo delle piene sono stati estratti dagli Annali Idrologici, pubblicati annualmente a cura del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN), nello specifico è stata utilizzata la stazione di Porto Sant'Elpidio ritenuta rappresentativa, vista la collocazione geografica della stazione in questione, situata, analogamente al sito di indagine, nella prima zona collinare retrostante la linea di costa.

Per la ricostruzione geologica locale e per la parametrizzazione geotecnica dei litotipi presenti ci si è avvalsi dei dati scaturiti nel corso dell'esecuzione, in data *10 Febbraio 2011* di n°2 prove penetrometriche dinamiche super-pesanti (Dpsh) effettuate con strumento tipo "*Pagani TG 63-100*"; i cui risultati, opportunamente correlati con le informazioni raccolte dallo scrivente nel corso di precedenti studi effettuati nell'area (*Febi 1995, Detto 1995, 1998, Cavallari 1999, Cupidio 1999, Pasqualini, 1999, Luciani, 2001, Tombolini 2002-2005, Forgià 2004, Gabbiano immobiliare 2005, Coccia Creazioni Edili, Edilproject Imm., Cristian Immobiliare, Hotel Timone ecc...*).

Infine la caratterizzazione sismica del sito è stata realizzata attraverso un'indagine geofisica mediante tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio), eseguendo n.1 acquisizione sismica passiva mediante un tromografo digitale di tipo "*Tromino Zero*" all'interno del lotto in oggetto, al fine di determinare le "*Vs30*" dei terreni presenti, secondo quanto prescritto dalle direttive dell'OPCM 3274/03 e del DM 14.01.08.

### ***Metodologia di analisi***

La metodologia adottata può essere così schematizzata:

*-studio dati esistenti, di tipo geologico, idrogeologico ed idraulico;*

- raccolta testimonianze orali circa possibili fenomeni di esondazione verificatesi nell'area;
- rilevamento geologico e geomorfologico di campagna;
- valutazione delle caratteristiche litologico-tecniche dei litotipi;
- esecuzione n°2 prove penetrometriche dinamiche super pesanti (Dpsh);
- esecuzione n° 1 acquisizione di sismica passiva elaborate mediante tecnica dei rapporti spettrali o HVST;
- valutazione delle caratteristiche idrauliche dei corsi d'acqua presenti;
- esecuzione verifica idraulica di III livello;
- valutazione delle caratteristiche sismiche;
- valutazione della fattibilità geologica;
- stesura della presente relazione generale esplicativa.

Lo studio è stato svolto in osservanza della seguente normativa:

- L. n.64/74 "Legge Sismica Nazionale"
- L.R. n.33 del 3 Novembre 1984 "Legge Sismica Regionale"
- D.M. Marzo 1988 "Norme per lo studio delle terre e delle rocce"
- Circolare Regionale Marche n.14 del 28 Agosto 1990
- Regolamento Edilizio Tipo (RET)
- L.R. n.26 del 8 Giugno 1987 "Piano Paesistico Ambientale Regionale e relative norme tecniche di attuazione e circolari esplicative":
- L.R. n.34 del 5 Agosto 1992 "Norme in materia di urbanistica, paesaggistica e di assetto del territorio".
- Decreto del P.G.R. n. 118 del 27/06/2001 "Piano Territoriale di Coordinamento (PTC)"; L.R. 34/92 - art. 25, comma 6. Accertamento di conformità del Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Ascoli Piceno".
- Piano di Riassetto Idrogeologico della Regione Marche (DR 116 del 21/01/04).
- D.M. 14 Gennaio 2008 "Norme tecniche per le costruzioni".
- Legge Regionale Marche n.22/2011 art. 10, comma 4

La base cartografica utilizzata per la modellazione e la stesura degli elaborati è la Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000 della Regione Marche e la ortofotocarta del comune di Porto San Giorgio in scala 1:5.000, mentre il rilievo delle geometrie delle sezioni del fosso, nel tratto di interesse, sono state misurate direttamente in sito dallo scrivente.

## 1.2 CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE

L'area in esame (vedi Corografia Tav.1) è posta nella porzione centro-orientale del territorio comunale di Porto San Giorgio, ad una distanza di circa 1.0 chilometro in direzione Sud dalla piazza cittadina.

Morfologicamente il frustolo di terreno in esame ricade lungo l'odierna cimsa costiera, la quale presenta un'ampiezza, nel tratto di studio, di circa 500 metri. La struttura collinare costiera che delimita ad Ovest la piana litoranea, in corrispondenza del suo tratto terminale, risulta costituita da un versante con una pendenza media valutabile intorno ai 10-13°, declivio questo piuttosto antropizzato ed urbanizzato.

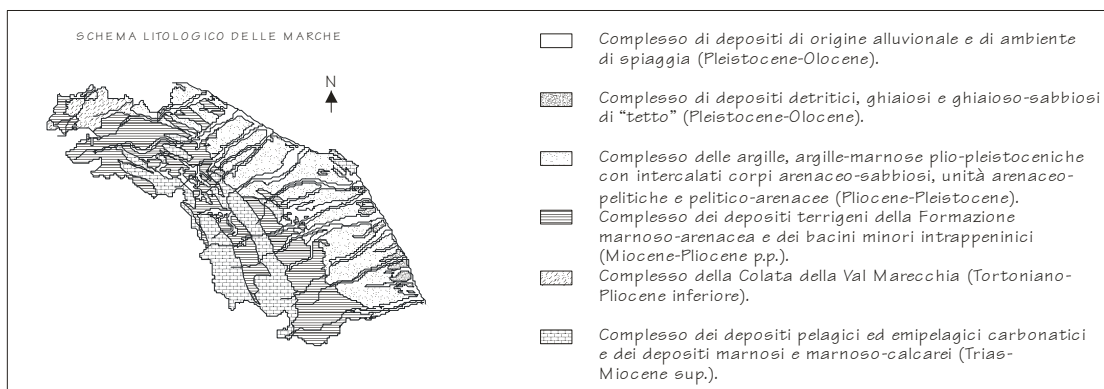
Il comparto edilizio oggetto di studio, posto ad una quota topografica di compresa tra 4.0 e 4.4 mt. s.l.m., risulta ubicato su una superficie ad andamento sub-pianeggiante e talora leggermente digradante verso est (1-2°) sino al mare e risulta delimitato ad Ovest da altre proprietà incasate, ad Est dalla sede stradale di via *Galliano* ed a Nord il limite risulta descritto dall'andamento di via *Palermo* mentre via *Settembrini* delimita il comparto edilizio in questione in direzione Sud. Dal punto di vista topografico, pertanto, il sito in oggetto così come l'intera area circostante possono essere classificati secondo il *D.M. 11 Gennaio 2008*, come **Categoria T1** (*Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$* ).

Il sito di studio, vista la morfologia sub-pianeggiante dell'area può chiaramente essere considerato stabile dal punto di vista morfologico e non si evidenziano per l'intera rischi di alluvionamento da parte di corsi d'acqua maggiori o di mareggiate; in quanto la notevole distanza dal mare (450 mt. circa) e la quota topografica del sito. A conferma di ciò, è stato redatto recentemente da parte della Regione Marche uno studio specifico denominato *Piano per l'assetto idrogeologico* (PAI), richiesto dalle LL. 267/98 e 365/00, in merito all'individuazione delle aree a maggior rischio idrogeologico relative ai bacini idrografici regionali, in cui si evince, come **la zona in esame non risulta attualmente compresa tra le aree a rischio di esondazione e aree a rischio di frana (vedi Tavola RI 60a PAI).**

Mentre per quanto riguarda il rischio di esondazione da parte dei corsi d'acqua minori e nello specifico i rischi di esondazione del canale intubato presente al di sotto del tracciato pedonale di via *Settembrini* si rimanda a quanto verrà trattato nel prf. 1.6 relativo alla verifica di compatibilità idraulica del sito.

### 1.3 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE

Nella regione marchigiana è presente al di sopra di un basamento ercinico una successione sedimentaria e marina pressoché continua dal *Trias superiore* al *Neogene*; nell'area più orientale tale successione è ricoperta in discordanza ancora da sedimenti marini, depositatisi tra il *Pliocene medio* e il *Pleistocene inferiore*. Tali successioni, che corrispondono a due distinti cicli sedimentari, si sono sviluppate su un elemento di crosta continentale in continua evoluzione dal *Trias* al *Pleistocene* e la tettonica sinsedimentaria ha condizionato in maniera determinante gli ambienti di sedimentazione. In particolare l'area oggetto di studio risulta ubicata nel settore Sud-orientale del *Bacino Marchigiano Esterno*, il quale risulta colmato da sedimenti terrigeni del ciclo marino plio-pleistocenico. Tali sedimenti nella parte più occidentale risultano trasgressivi e discordanti sui depositi torbiditici della *Formazione*



della Laga, mentre nella parte più orientale del bacino, invece, poggiano in discordanza sui depositi del *Pleistocene inferiore*. In generale la sequenza plio-pleistocenica inizia con depositi trasgressivi cui segue una potente successione argillosa, nella quale sono intercalati, a varie altezze stratigrafiche, corpi e/o orizzonti clastici a granulometria grossolana e fine. La sequenza si chiude con sabbie e conglomerati in facies da litorale a continentale.

Le risultanze delle prove penetrometriche super-pesanti (Dpsh) effettuate ed ubicate come da Planimetria di Tav.3, unitamente alla conoscenza, in base a studi precedentemente svolti in lotti limitrofi della stratigrafia dell'area, hanno evidenziato la presenza, al di sotto di un esiguo spessore di terreno di riporto, di sedimenti limoso-argillosi di genesi continentale interdigerati a livelli sabbioso-ghiaiosi di probabile ambiente di transizione. Alla base dei depositi suddetti, non raggiunti direttamente nel corso dell'esecuzione delle prove in

situ eseguite, ma individuati indirettamente attraverso l'interpretazione dello studio geofisico eseguito a partire da una profondità di circa 20-22 mt. (*vedi risultanze analisi sismica allegata in appendice*) si riscontrano i terreni autoctoni di genesi marina, costituiti da argilla stratificata a sottili veli sabbiosi, rappresentanti i termini superiori della successione marina del Plio-Pleistocene. La locale successione dei terreni presenti può essere così schematizzata:

- a) LIMO SABBIOSO
- b) SABBIA LIMOSA
- c) SABBIA GHIAIOSA

a) LIMO SABBIOSO: (*depositi colluvio-alluvionali*) litotipo composto da sedimenti fini ascrivibili ai limi, immersi in una abbondante matrice sabbiosa di probabile natura alluvionale, generati, con tutta probabilità, dal piccolo fosso attualmente rivestito, presente sotto via *Settembrini*. Terreno plastico, molto compressibile, dal comportamento reologico di tipo "coerente". Scarse, talora pessime le caratteristiche geotecniche del sedimento rinvenuto fino ad una profondità di 2.00 e 2.80 mt dall'attuale piano campagna nel corso delle penetrometriche Dpsh1 e Dpsh2, rispettivamente.

b) SABBIA LIMOSA: (*depositi di spiaggia e/o alluvionale*) sedimento costituito da sabbia in leggera matrice limosa, talora inglobante ciottoli eterometrici. Materiale completamente sciolto ed incoerente riscontrato al di sotto della locale falda acquifera e distribuito in corpi di forma lenticolare di spessore modesto e presumibilmente dalla limitata estensione areale. Media la densità relativa del litotipo e pertanto discrete le qualità geomeccaniche e di compressibilità compressive.

b) SABBIA GHIAIOSA: (*depositi litoranei*) trattasi di sabbia dalla granulometria medio-grossolana inglobante un discreto quantitativo di ciottoli eterometrici arrotondati di natura prevalentemente calcarea. Orizzonte riscontrato nel corso delle prove eseguite all'interno del sito in esame, ad una profondità di circa 2.60 e 2.80 mt in corrispondenza di Dpsh1 e Dpsh2. Buona la densità relativa del litotipo e pertanto buone le qualità idrauliche e geomeccaniche del sedimento.

I rapporti stratigrafici dei vari litotipi riscontrati nel corso delle terebrazioni, sono stati schematicamente rappresentati nelle sezione litotecnica allegata in appendice.

#### 1.4 CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

La ricostruzione del quadro idrogeologico dell'area è avvenuto attraverso delle misure freatiche eseguite su alcuni pozzi esistenti ritenuti significativi tra tutti quelli presenti nell'area più prossima alla zona investigata, inoltre si è fatto riferimento alle manifestazioni idriche riscontrate durante l'esecuzione delle prove in situ realizzate nella zona. La misura puntuale e dettagliata dei livelli freatici riscontrati all'interno di ogni singolo pozzo/prova in situ, ha permesso di ricostruire le caratteristiche idrauliche del sito, e quindi avere una valutazione, se pur di massima (misure puntuali correlate su l'intera area), dell'andamento delle acque sotterranee, nonché di risalire ai gradienti idraulici, la soggiacenza della/e falda/e dal piano campagna e le relazioni di quest'ultime con le acque di superficie.

La carta delle isofreatiche (vedi Carta Idrogeologica allegata in appendice) che ne è emersa ha permesso la ricostruzione ed interpretazione della morfologia idrogeologica, e quindi l'individuazione della direzione verso cui le acque sotterranee tendono preferenzialmente a defluire ("zona di deflusso"), nonché il locale gradiente idraulico dell'acquifero. Dai valori scaturiti si evince la presenza di una falda superficiale di natura freatica intestata all'interno dei depositi costieri e delimitata inferiormente dal locale sub-strato geologico (acquicludo) costituito dalle argille Plio-pleistoceniche. Dallo studio è emerso che il tetto della falda è posto, rispetto all'attuale piano campagna, ad una profondità di circa 2.00 mt in corrispondenza dell'area in esame.

Le curve isofreatiche rappresentanti il tetto dell'acquifero tendono a disporsi a parallelamente alla linea di costa con asse di drenaggio diretto principalmente secondo la direzione E-NE. Il gradiente idraulico medio della falda nell'area in esame può essere stimato intorno a  $1.2 \times 10^{-2}$ . Verosimilmente la principale fonte di ricarica dell'acquifero rinvenuto nell'area è dovuta all'infiltrazione delle acque correnti superficiali, inoltre un'altra fonte di alimentazione è fornita dalle acque meteoriche che né condizionano presumibilmente anche il regime. Dagli studi effettuati nell'area è emerso che la falda sembra risentire delle precipitazioni con un ritardo di circa 15 giorni, un mese e che quindi i minimi valori freatici si registrano nei mesi autunnali, i massimi invece in quelli primaverili.

Alla luce della granulometria e quindi la permeabilità dei sedimenti che compongono in maniera prevalente il locale acquifero (ghiaie sabbiose),

considerando soprattutto l'elevato spessore del corpo idrico e quindi la notevole trasmissività dello stesso ( $T=kh$ ), la produttività della falda idrica risulta apprezzabile, così risulta essere estremamente elevata la sua vulnerabilità, vista la scarsa copertura superficiale della stessa.

## 1.5 CARATTERISTICHE LITOTECNICHE

Nell'area in esame è stata operata una suddivisione tra i vari litotipi presenti nell'immediato sottosuolo, da cui è nata la carta litologico-tecnica allegata. La classificazione è stata eseguita seguendo lo schema indicato dalla Circolare n°14 del 28 agosto 1990 e riportato sul Bollettino Ufficiale della Regione Marche, anno XXI - n°120, del 24 settembre 1990. In tali elaborati sono state evidenziate le unità litotecniche della "copertura", sulla base della campagna geognostica effettuata attraverso l'esecuzione di una prova penetrometrica dinamica super-pesante e al reperimento di precedenti studi effettuati dallo scrivente, hanno permesso di risalire alle caratteristiche granulometriche dei litotipi presenti e alle proprietà tecniche delle singole unità stratigrafiche.

In particolare, rispetto a quanto indicato nella "guida schematica" riportata nella Circolare della Regione Marche n°14, per la "copertura" è stata effettuata un'ulteriore suddivisione in rapporto alla diversa genesi deposizionale dei singoli depositi continentali. Dalla carta litotecnica si evince come in corrispondenza dell'area progetto siano presenti le unità continentali appartenenti alla "copertura" di genesi palustre e alluvionale/litoranea composte da "*sedimenti a grana medio fine*" (E1 - limi sabbiosi-sabbie limose) dal comportamento reologico al limite tra coerente ed incoerente e da "*sedimenti a grana grossa*" (D2 - clasti arrotondati in matrice sabbiosa) dal comportamento di tipo incoerente. La locale successione delle singole unità litologico-tecniche, può essere quindi così schematizzata:

### UNITA' LITOLOGICO-TECNICHE DELLA "COPERTURA"

L'unità litotecnica della copertura fa parte della seguente unità litostatigrafica:

#### **-Sedimenti a grana medio-fine**

**-E2:** unità composta da sedimenti sabbioso-limosi e limoso-sabbiosi. Terreno dal comportamento reologico al limite tra coerente ed incoerente, in

rapporto alla prevalenza o meno dei sedimenti sabbiosi rispetto a quelli limosi.

### **-Sedimenti a grana grossa**

#### ***Materiali sciolti***

**D2:** unità composta da ghiaia di origine calcarea arrotondata immersa in una abbondante matrice sabbiosa, talora predominante. Contatto intergranulare piuttosto continuo (clast-supported). Medio-alta la densità relativa del materiale caratterizzato da qualità geotecniche buone, talora ottime.

#### ***-PARAMETRIZZAZIONE DELLE UNITA' LITO-TECNICHE***

Alcuni parametri geomeccanici dei terreni riscontrati mediante le prove penetrometriche dinamiche super-pesanti (Dpsh) sono stati ottenuti dalla elaborazione e correlazione dei dati sperimentali secondo le interpretazioni di Sanglerat, Terzaghi, D'Apollonia, Begemann, Schmertmann Gardner ed altri recenti autori. Gli stessi, quindi, unitamente ad altri ricavati da prove geotecniche di laboratorio eseguite su litotipi simili prelevati nelle vicinanze del sito di indagine, nel corso di indagini eseguite in precedenza dallo scrivente, possono essere così riassunti:

Parametri	Unità di Misura	Unità "copertura" E2		Unità "copertura" D2
		Limo sabbioso	Sabbia limosa	Sabbia ghiaiosa
$\gamma$	(g/cm <sup>3</sup> )	1.90	1.85(2.1sat)	1.85(2.1sat)
$\gamma_k$	(g/cm <sup>3</sup> )	1.90	1.85	1.85
Cu	(Kg/cm <sup>2</sup> )	0.3-0.7	-	-
Cu <sub>k</sub>	(Kg/cm <sup>2</sup> )	0.4	-	-
C'	(Kg/cm <sup>2</sup> )	0.0-0.1	-	-
C' <sub>k</sub>	(Kg/cm <sup>2</sup> )	0.04	-	-
$\phi'$	(gradi)	20-22°	28-30°	30-35°
$\phi'_k$	(gradi)	20°	29°	31°
Ed	(Kg/cm <sup>2</sup> )	19-45	-	-
Es	(Kg/cm <sup>2</sup> )	-	82-145	163-380



La simbologia usata è la seguente:

$\gamma$	= peso di volume del terreno;
$C_u$	= coesione non drenata;
$C'$	= coesione drenata;
$\phi'$	= angolo di attrito drenato;
$Ed$	= modulo edometrico;
$Es$	= modulo di elasticità.
$\gamma_k, C_{u,k}, C'_{k}, \phi'_{k}$	= parametri caratteristici* del terreno (DM08).

\* I parametri caratteristici sono stati determinati secondo la formula semplificata di Schneider:

$$X_K = X_{med} \left( 1 - \frac{COV}{2} \right)$$

dove COV è il coefficiente di variazione, e Schneider raccomanda i seguenti valori:

Angolo di attrito $\Phi$	10%
Coesione	40%
Modulo di comprimibilità	40%

## 1.6 VERIFICA DI COMPATIBILITA' IDRAULICA

### **Analisi idrografica, bibliografica, storica e considerazioni su base geomorfologica**

Oltre alle considerazioni espresse nel *prf* 1.2 circa il rischio di alluvionamento dell'area oggetto di studio da parte degli elementi idrografici principali; è stata espletata una verifica di compatibilità idraulica ai sensi della legge regionale n.22/2011 condotta sui corsi d'acqua minori, nel rispetto di quanto dettato dai "criteri, modalità e indicazioni tecnico-operative per la redazione della verifica di compatibilità idraulica degli strumenti di pianificazione territoriale e per l'invarianza idraulica delle trasformazioni territoriali" (BUR Marche n.19 del 17/02/2014) e relative *Linee Guida* redatte dall'Autorità di Bacino Regione Marche in data Marzo 2014, allegato A.

Nello specifico, lo studio si articola in una prima fase condotta adottando un livello di verifica di tipo preliminare, ossia basato su considerazioni di tipo prevalentemente idrografico-bibliografico e storico, alle quali sono state

comunque associate considerazioni di tipo geomorfologico e topografiche. La ricerca storica eseguita si è basata sia sulle informazioni orali raccolte in situ e sul reperimento di cartografie attuali e storiche e soprattutto facendo riferimento alla Carta IGM Foglio n.125 della Carta d'Italia (*rilievo 1984 allegata in appendice*). L'area in esame come si può vedere da cartografia si colloca a ridosso di un fosso/canale esistente che si sviluppa al di sotto del tracciato di via Settembrini e rappresenta l'unico elemento idrografico presente nell'area oggetto di studio. Dalle informazioni raccolte durante i vari sopralluoghi, è emerso che il fosso, avente, un tracciato completamente antropizzato, si alimenta verso monte attraverso un modesto bacino (2.85 ha) costituito da un terreno agricolo che convoglia le acque dilavanti all'interno di una caditoia (vedi foto allegate), zona questa oggetto di numerose esondazioni verificatesi in seguito ad eventi meteorici, talora anche non particolarmente intensi, avvenuti negli ultimi decenni, **mentre nel tratto di studio, dai dati storici reperiti, non si sono mai registrati fenomeni di alluvionamento**. Nella Carta Geomorfologica Aree inondabili e Aree di pertinenza fluviale, in scala 1:5 000 e 1:2000 che ne sono derivate, sono state evidenziate su base geomorfologica le aree di pertinenza fluviale dei fossi presenti nell'area, le zone storicamente alluvionate e la fascia di rispetto idraulica di cui al R.D. 523/1904, art. 96, comma f (10 mt dal piede degli argini e loro accessori o dal ciglio di sponda dell'alveo), unitamente all'area oggetto di studio (*vedi Tavole allegate in appendice*).

Comunque nonostante le informazioni storiche, con lo scopo di approfondire il livello di studio dal punto di vista del rischio idraulico, data l'estrema vicinanza dell'area di piano urbanistico al corso d'acqua in questione, **è stato condotto uno studio completo (III livello di analisi), redatto ai sensi della L.R. 22/2011 art.10 cap. 2.4.1.**

#### VERIFICA IDRAULICA

##### **Elaborazione dati pluviometrici**

Nella analisi di calcolo e nelle verifiche delle opere idrauliche, la determinazione delle altezze idrometriche e delle portate hanno un ruolo di fondamentale importanza. Dai dati pluviometrici dedotti in funzione delle frequenze e della distribuzione dei valori per il tempo di ritorno prescelto, scaturiscono le ipotesi per il dimensionamento e/o la verifica delle opere stesse. I dati pluviometrici di una stazione di misura delle precipitazioni, si estraggono dagli Annali Idrologici, pubblicati annualmente a cura del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN). La elaborazione di tali dati si

attua ricercando la relazione esistente tra l'altezza delle precipitazioni e le loro durate per un determinato periodo di ritorno considerato. Affinché le elaborazioni siano attendibili i dati di riferimento devono essere sufficientemente estesi nel tempo (almeno 20-30 anni). Le relazioni  $h=h(t)$  sono espresse generalmente nella forma seguente:

$$h=at^n$$

dove  $a$  ed  $n$  sono costanti in funzione del periodo di ritorno.

### ***stazione di misura delle piogge***

La stazione di misura presa in considerazione è quella di Porto Sant'Elpidio, distante circa 11 km dall'area studiata e ritenuta rappresentativa, vista la collocazione geografica della stazione in questione, situata, analogamente al sito di indagine, nella fascia costiera. I dati ricavati sono stati desunti dagli Annali Idrologici redatti dal Servizio Idrografico e Mareografico di Bologna. L'elaborazione dei dati dedotti dagli Annali idrologici, ipotizzando tempi di ritorno differenti e compresi tra 30 e 200 anni, ha consentito di ricavare la relazione dell'altezza delle precipitazioni con la loro durata in relazione ai fattori "a" e "n" (vedi tabelle ed elaborazioni successive).

### ***tempo di corrivazione***

Il tempo di corrivazione di un bacino idrologico è il tempo necessario a far confluire quella parte di precipitazione, che contribuisce alla piena, in particolare quella che scorre in superficie, dal punto più distante del percorso idrologico alla sezione di chiusa del bacino, nel caso specifico rappresentata dalla caditoia di raccolta del campo agricolo situato a monte del tratto intubato (vedi planimetrie allegate).

Nel caso di un bacino di piccole dimensioni (<100 kmq), per il calcolo del tempo di corrivazione, viene generalmente utilizzato il metodo di Giandotti, adottato anche nel presente studio, la cui formula fa riferimento agli elementi fondamentali del processo cinematico che avviene nel bacino. I risultati forniti da tale formula per bacini di limitata estensione areale (<100 kmq) sono da considerarsi normalmente come sovrastimati.

*Formula di Giandotti:*

$$t_c (h) = \frac{4(S_b)^{1/2} + 1.5 L_p}{0.8 (H_m)^{1/2}}$$

Sb = *superficie bacino*  
**Sb = 0.0285 kmq (2.85 ha)**

Lp = *lunghezza del bacino*  
**Lp = 0.360 km**

Pm = *pendenza media del bacino*  
**Pm = 23.97%**

Hm = *altezza media del bacino*  
**Hm = 80 mt**

**t<sub>c</sub> (h) = 0.21 h**      *Formula di Giandotti*

### ***coefficiente di deflusso***

Il coefficiente di deflusso o coefficiente di *Runoff* è il rapporto tra la quantità di deflusso e la quantità di precipitazione e dipende da diversi fattori quali il tipo di terreno, il grado di saturazione, il tipo di vegetazione, la pendenza, ecc. Sono diversi e differenti i metodi per la determinazione di tale coefficiente, in questo caso si è adottato *il metodo di Kennessey (1930)*, in quanto ritenuto più idoneo, visto il discreto numero di fattori di cui tiene conto. Tale metodo presuppone che il coefficiente di deflusso sia la somma di tre coefficienti *C<sub>a</sub>*, *C<sub>v</sub>* e *C<sub>p</sub>* che si riferiscono alla acclività media, alla tipologia di copertura vegetale ed alla permeabilità dei suoli, inoltre tali valori sono in funzione di un indice detto di aridità, cioè condizioni di imbibizione del terreno.

INDICE DI ARIDITA'	<25	25 - 40	>40
PERMEABILITA' (CP)		coefficienti	
1° - molto scarsa	0.21	0.26	0.3
2° - mediocre	0.12	0.16	0.20
3° - buona	0.06	0.08	0.10
4° - elevata	0.03	0.04	0.05
ACCLIVITA' (CA)		coefficienti	
1° - >35%	0.22	0.26	0.30
2° - 35% - 10%	0.12	0.16	0.20
3° - 10% - 3.5%	0.01	0.03	0.05
4° - <3.5%	-	0.01	0.03
COPERTURA VEGETALE (CV)		coefficienti	
1° - roccia nuda	0.26	0.28	0.30
2° - pascoli	0.17	0.21	0.25
3° - terra coltivata	0.07	0.11	0.15
4° - bosco d'alto fusto	0.03	0.04	0.05

Nel caso specifico, il bacino idrografico in questione (vedi tavola allegata in appendice) risulta caratterizzato da un indice di aridità basso, da una permeabilità molto scarsa con  $C_p=0.21$ , vista la presenza di terreni di natura prevalentemente limoso-argillosa, della coltre di natura eluvio-colluviale che caratterizza dal punto di vista geologico l'intero bacino imbrifero in questione. Mentre per quanto riguarda l'acclività media dei terreni che caratterizzano il bacino, è stata considerata la classe compresa tra 35% e 10%, da cui risulta un coefficiente  $C_a=0.12$ ; infine per l'uso del suolo e quindi la copertura vegetale, si considera come la superficie del bacino sia caratterizzata da terra interamente coltivata, da cui scaturisce un valore di  $C_v=0.07$ . Il valore complessivo del coefficiente di deflusso risulta pertanto essere pari a:

$$C = C_p + C_a + C_v = \mathbf{0.4} \quad (\text{metodo di Kennessey 1930}).$$

### Calcolo di massima piena

Il bacino idrografico del fosso oggetto di studio si estende esclusivamente all'interno del comune di Porto San Giorgio, per una superficie complessiva, in corrispondenza dell'area sottesa dall'imbocco del tratto intubato, di circa  $0.0285 \text{ km}^2$ , è caratterizzato da una forma allungata, con asse di allungamento disposto secondo la direzione Ovest-Est.

#### a) parametri morfometrici

area bacino idrografico	$A_b = 0.0285 \text{ km}^2$
perimetro bacino idrografico	$P_b = 0.80 \text{ km}$
lunghezza bacino idrografico	$L = 0.360 \text{ Km}$
pendenza media %	$P = 23.97\%$
coefficiente di uniformità	$K_c = P_b / (2 \times (p \times A_b)^{1/2}) = 4.84$
rapporto di circolarità	$K_r = A_b / (0.0796 \times P_b^2) = 0.56$

Il coefficiente di uniformità e il rapporto di circolarità sono parametri che danno indicazioni sulla forma del bacino e quanto quest'ultimo si discosta dalla forma circolare ( $K_c$  e  $K_r = 1$ ). I valori relativi scaturiti si discostano dall'unità, e sono tipici di bacini di forma allungata, come quello oggetto di studio (vedi planimetria allegata in appendice). Un metodo ampiamente usato per il calcolo della portata di piena è il *metodo razionale*. La formula razionale fornisce il valore della portata di piena  $Q$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) in funzione del tempo di ritorno  $T$  (anni), a partire dal volume specifico dei deflussi (pioggia netta o pioggia depurata)  $h_n$  (mm), in funzione dell'ampiezza dell'area scolante  $A$

(km<sup>2</sup>) e del tempo di percorrenza dei deflussi stessi, detto tempo di corrivazione  $t_c$  (ore).

$$Q = \frac{C \cdot h \cdot A \cdot k}{t_c}$$

dove:

$Q$ = portata di massima piena al colmo per un dato tempo di ritorno, ipotizzato di 200 anni;

$C$ = coefficiente di deflusso, rapporto tra gli afflussi meteorici e i corrispondenti deflussi superficiali;

$k$ = costante (0,2777);

$S$ = area del bacino (km<sup>2</sup>);

$h$ = altezza di precipitazione riferita  $t_c$  per un dato tempo di ritorno (mm);

$t_c$ = tempo di corrivazione (ore).

**INTERA AREA SOTTESA ALLA SEZIONE CONSIDERATA**

Deflusso	C=0.4	S (kmq)=0.0285	tc=0.21 (Giandotti)			
Tr (anni)	a	n	tc (ore)	h (mm)	ic	Q(mc/sec)
5	32.5836443	0.2800	0.21	21.05	100.23	0.317
10	38.1437161	0.2792	0.21	24.67	117.48	0.372
20	43.4735667	0.2771	0.21	28.21	134.33	0.425
30	46.5385969	0.2761	0.21	30.25	144.03	0.456
50	50.3691698	0.2751	0.21	32.79	156.14	0.494
100	55.5347383	0.2739	0.21	36.22	172.48	0.546
<b>200</b>	<b>60.6804021</b>	<b>0.2729</b>	<b>0.21</b>	<b>39.64</b>	<b>188.75</b>	<b>0.598</b>
500	67.4679159	0.2718	0.21	44.14	210.21	0.666
1000	72.5970538	0.2711	0.21	47.55	226.43	0.717

I valori della portata di massima piena  $Q$  calcolati per i diversi tempi di ritorno (30, 50, 100 e 200 anni) previsti dalle linee guida redatte dall'Autorità di Bacino della Regione Marche, nel Marzo 2014, recanti indicazioni e suggerimenti per la corretta stesura della V.C.I. relativamente alla verifica di compatibilità idraulica completa (analisi III livello), adottando come tempo di corrivazione  $t_c$  quello ricavabile dalla formula di Giandotti ( $t_c=0.21$ ), risultano essere quindi quelli evidenziati in giallo nella tabella sopra esposta.

Oltre alle portate precedentemente determinate si è cercato di tener conto dei possibili afflussi di acque chiare all'interno del tratto di fosso studiato, nella zona pianeggiante compresa tra l'innesto del tubo rotocompreso chiuso proveniente dalla collina e lo scatolare subito a valle della strada statale Adriatica (estremo Ovest), sino a via della Repubblica (estremo Est), mentre si è trascurato il restante tratto di fosso ad est di via della Repubblica, in quanto posto ad una distanza ritenuta di sufficiente sicurezza (80 mt.) per il modesto canale in oggetto, ma soprattutto tenendo conto del fatto che in tale area il fosso si immerge prima al di sotto di un grosso complesso edilizio, quindi del rilevato ferroviario, aree quest'ultime dove non vi è la possibilità di afflusso idrico. L'area di potenziale alimentazione idrica del fosso in questione, delimitata in colore rosa e cartografata nella planimetria relativa al bacino idrografico, è stata tracciata su base morfologica tenendo conto delle quote topografiche riportate nella ortofotocarta del comune di Porto San Giorgio, considerando una profondità dello scatolare di 75 cm e valutando la presenza di un ulteriore fosso interrato con andamento Ovest-Est sito leggermente più a nord all'altezza di via Sacconi. Da una ricerca fatta, basata su informazioni orali raccolte sul posto e da ispezioni eseguite scoperchiando vari tratti del canale (vedi foto allegate) dove non si sono individuati allacci di alcun tipo, è emersa la convinzione, da parte di chi scrive, che la quantificazione esatta delle acque pluviali provenienti da tale area ed affluenti direttamente nel canale di studio, risulta di difficile/impossibile determinazione, in quanto talora le acque pluviali dei tetti e delle corti dei fabbricati, soprattutto di quelli più datati, potrebbe confluire direttamente all'interno delle fognature di acque nere, così come le vie presenti nella zona potrebbero avere dei sistemi di smaltimento idrico autonomi con scarichi diretti verso il mare. Pertanto in tali condizioni il potenziale apporto idrico non può che essere valutato su base ipotetica.

Nello specifico le verifiche idrauliche, a fini precauzionali, sono state condotte considerando la portata più gravosa relativa al tempo di ritorno di 200 anni, precedentemente determinata pari a  $Q = 0.598$  mc/sec, incrementata del 50% al fine di tener conto dell'eventuale apporto idrico dovuto a scarichi antropici nel tratto di influenza del corso d'acqua oggetto di studio, considerato assolutamente sovrastimato alla luce delle considerazioni precedentemente espresse, **verificando quindi un portata totale massima di  $Q = 0.897$  mc/sec.**

## **Stato attuale del sito**

*(Vedi Planimetria 1:1000 allegata in appendice)*

Il tratto del fosso preso in esame è stato georeferenziato utilizzando i dati connessi alla ortofotogrammetria comunale a scala 1:5 000, opportunamente integrati con la misura delle opere antropiche presenti effettuate dallo scrivente nel corso dei sopralluoghi eseguiti sul posto.

Il tronco del corso d'acqua studiato (*vedi planimetria allegata in appendice*), della lunghezza complessiva di 200 mt, si sviluppa prevalente in direzione SudOvest-NordEst e risulta compreso tra la sezione 10 ubicata a valle in prossimità dell'attraversamento di *Via Della Repubblica* sino alla sezione 40 posta a monte, subito ad Est della strada statale Adriatica. Il tratto oggetto di studio è caratterizzato da uno scatolare in cls, di forma rettangolare avente una sezione netta di altezza pari a 0.75 mt e larghezza di 0.87 mt (0.75x0.87 mt). Lo scatolare è coperto da lastre in cls amovibili affiancate le une alle altre (*vedi foto allegate*). A monte e a valle di tale tratto, il fosso risulta essere completamente intubato, ed in particolare il tubo di monte, con tutta probabilità è composto da una sezione e/o tratti di sezione insufficienti, viste le problematiche di esondazione che si verificano con una certa frequenza nella zona di confluenza, all'altezza di via Michelangelo, tra le acque provenienti dal campo agricolo ed il pozzetto di testa del tratto intubato che talora non riesce a ricevere la totalità delle acque pluviali.

Quindi in tale contesto, anche in questo caso a fini cautelativi sono stati trascurati, nelle verifiche idrauliche condotte, sul tratto di canale di studio, gli effetti di strozzatura esercitati dalla condotta intubata proveniente dalla collina.

## **Verifica Idraulica**

Per la modellazione idraulica del deflusso nei corsi d'acqua sia naturali che artificiali si utilizzano schematizzazioni diverse in funzione dei dati disponibili e del grado di accuratezza del risultato che si intende ottenere. La prima differenziazione riguarda la schematizzazione dimensionale utilizzata, che può essere monodimensionale, bidimensionale o tridimensionale. Ai fini pratici la schematizzazione più utilizzata è sicuramente quella monodimensionale soprattutto per la semplicità che la caratterizza. Essa fornisce in ogni caso risultati soddisfacenti quando la componente principale di moto è lungo una direzione prevalente. In questo caso le caratteristiche di moto vengono valutate su ogni singola sezione trasversale del corso d'acqua e poi viene



valutata la singola interferenza con le sezioni contigue. Nel caso specifico del fosso in questione è stata adottata una tipologia di **schema monodirezionale** in quanto assolutamente soddisfacente, dato che non trattasi di un ampio corso d'acqua dove la propagazione delle acque avviene attraverso meandri e/o barre che dividono i flussi in componenti di spostamento anche di tipo laterale, ma nel caso di studio essendo il corso d'acqua estremamente piccolo, concentra il suo deflusso lungo una linea orientata verso al massima pendenza e priva di accentuate divagazioni, data anche la linearità del fosso, nel tratto studiato.

Oltre allo schema di moto, un'altra distinzione va condotta in base alle condizioni temporali o regime di moto che può essere di tipo: *uniforme*, *permanente* e *vario*. Si ha un moto *permanente* quando le caratteristiche del deflusso restano costanti in funzione del tempo e moto *vario* quando esse variano. Il moto *uniforme* è un caso particolare di quello *permanente*, quando il deflusso avviene in un alveo cilindrico. Una corrente a pelo libero è in moto uniforme se scorre in un alveo cilindrico con la superficie libera parallela al fondo, in natura si trovano situazioni di questo genere solo in canali ed alvei completamente artificiali ed in perfetto stato di manutenzione. Pertanto una corrente a pelo libero è da considerarsi in moto permanente gradualmente variato quando sono presenti variazioni graduali di sezione e di direzione, ma in ogni caso la pressione può ritenersi distribuita idrostaticamente e la portata non varia nel tempo. Una corrente a pelo libero è in moto vario quando sono presenti brusche variazioni di portata in una sezione che si trasmettono quindi alle sezioni circostanti. Nel caso specifico per il fosso studiato, che di fatto è un canale a pelo libero a tutti gli effetti, dato che la copertura dello stesso risulta essere di tipo "permeabile" si è ritenuto ragionevole ipotizzare un regime di **moto di tipo permanente**.

Le verifiche sono state condotte utilizzando il **programma HEC-RAS 4.1.0 sviluppato da "Hydrologic Engineering Center" del US Army Corps of Engineers (USA)**. Tale programma serve per simulare la propagazione dell'onda di piena lungo il reticolo idraulico e determinare quindi l'altezza che il livello idrico raggiunge nelle varie sezioni evidenziando quindi possibili criticità del reticolo stesso. Inoltre permette di simulare il comportamento di eventuali opere da realizzare lungo i corsi d'acqua. Nel presente calcolo è stato utilizzato, come anticipato in precedenza, uno schema *monodimensionale* che è quello implementato nel software HEC-RAS associato a delle condizioni di *moto permanente* che prevede caratteristiche del deflusso che restano costanti in funzione del tempo.

Per la definizione del profilo liquido, in base alle caratteristiche geometriche dell'alveo del fosso in studio, considerando i valori del coefficiente di *Froude* emersi dai calcoli, si è utilizzato uno schema di **CORRENTE MISTA** (*mixed flow*). Per le condizioni di contorno sia a monte che a valle in corrispondenza delle due sezioni estreme (di monte e di valle) del tratto considerato, si è considerato per la condizione di contorno la pendenza media del tratto di canale a monte (Normal Depth) pari a 20.75 % mentre per la condizione a valle la pendenza media del tratto di canale studiato è stata imposta (Normal Depth) pari a 1.10%.

Alla luce di quanto sopra riportato, in ottemperanza con quanto dettato dai "Criteri, modalità e indicazioni tecnico-operative per la redazione della verifica di compatibilità idraulica degli strumenti di pianificazione territoriale e per l'invarianza idraulica delle trasformazioni territoriali" (BUR Marche n.19 del 17/02/2014), facendo inoltre riferimento, alle linee guida redatte dall'Autorità di Bacino della Regione Marche, nel Marzo 2014, recanti indicazioni e suggerimenti per la corretta stesura della V.C.I. e della V.I.I, nello sviluppo delle verifiche idrauliche del tratto in esame del canale in oggetto è stata effettuata una ipotesi di progetto, considerando la portata di massima con un tempo di ritorno pari a 200 anni pari a  $Q=0.598$  mc/sec, incrementata, in via del tutto cautelativa, del 50% pari a  $Q=0.299$  mc/s, considerando eventuali e/o possibili immissioni di acque antropiche nel canale stesso. La verifica idraulica è stata effettuata schematicamente secondo la seguente simulazione:

**simulazione unica**

Portata massima piena con Tempo di Ritorno (TR) di 200 anni incrementata del 50%  
 $Q = Q_{TR200} + 50\%Q_{TR200} = 0.897$  mc/s

Per la determinazione del coefficiente di scabrezza del tratto di canale preso in esame, si è fatto riferimento ai valori di **resistenza di Manning** rappresentati nella tabella sottostante, relativi al calcolo del coefficiente di resistenza del tronco:

**Coefficiente di scabrezza canali artificiali**

<b>Tipo di superficie</b>	<b>Minimo</b>	<b>Normale</b>	<b>Massimo</b>
<b>Canali rivestiti in</b>			
<i>Acciaio (canalette)</i>	<b>0.011</b>	<b>0.012</b>	<b>0.017</b>
<i>Lamiera ondulata</i>	<b>0.021</b>	<b>0.025</b>	<b>0.030</b>
<i>Legno con buon grado di finitura</i>	<b>0.010</b>	<b>0.012</b>	<b>0.015</b>

<i>Legno grezzo</i>	<b>0.012</b>	<b>0.015</b>	<b>0.018</b>
<i>Calcestruzzo liscio</i>	<b>0.011</b>	<b>0.013</b>	<b>0.015</b>
<i>Calcestruzzo grezzo</i>	<b>0.014</b>	<b>0.017</b>	<b>0.020</b>
<i>Conglomerato bituminoso liscio</i>		<b>0.013</b>	
<i>Conglomerato bituminoso grezzo</i>		<b>0.016</b>	
<i>Mattoni vetrificati</i>	<b>0.011</b>	<b>0.013</b>	<b>0.015</b>
<i>Mattoni con intonaco</i>	<b>0.012</b>	<b>0.015</b>	<b>0.018</b>
<i>Pietrame con giunti stilati</i>	<b>0.018</b>	<b>0.025</b>	<b>0.030</b>
<i>Scogliera</i>	<b>0.023</b>	<b>0.032</b>	<b>0.035</b>
<i>Gunita (sezione di scavo regolarizzata)</i>	<b>0.016</b>	<b>0.019</b>	<b>0.023</b>
<i>Gunita (sezione irregolare)</i>	<b>0.018</b>	<b>0.022</b>	<b>0.025</b>
<i>Erba</i>	<b>0.030</b>		<b>0.500</b>

Nel tratto in oggetto l'alveo risulta essere completamente rivestito in c.a., pertanto è stato utilizzato un coefficiente di scabrezza pari a 0.015, considerando un calcestruzzo liscio.

La **pendenza motrice** (J) utilizzata per le condizioni di contorno a monte (Normal Depth), è stata valutata in maniera estremamente dettagliata, grazie al rilevamento topografico di dettaglio eseguito per lo scopo, ed è risultata essere pari a **0.2075** (20.75%) e quella a valle pari a **0.011** (1.1%).

Di seguito vengono riportate le tabelle riassuntive, dei risultati ottenuti per il tempo di ritorno considerato (TR), di tutte le sezioni derivanti dalla simulazione, con le relative caratteristiche specifiche. Dalla simulazione ottenuta dal software adottato, oltre alle tabelle sopra citate, in cui sono riassunti i valori di velocità di corrente, numero di *Frode* ecc.... Inoltre ulteriori informazioni si possono ricavare dalle visualizzazioni grafiche, allegate in appendice, nelle quali viene descritto il livello dell'onda di piena sulle singole sezioni lungo l'alveo, sempre per il TR considerato di 200 anni, rappresentate da sezioni e profili sull'intero profilo longitudinale del tratto del *fosso* considerato.

**tabella risultati con  $Q = Q_{TR200} + 50\%Q_{TR200} = 0.897 \text{ mc/s}$** 

Reach	River Station	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Min. Ch. Elev. (m)	W.S. Elev. (m)	Crit. W.S. (m)	E.G. Elev. (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel. Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width	Frode # Chl
1	40	PF1	0.897	5.05	5.52	5.52	5.76	0.007659	2.17	0.41	0.87	1.01
1	30	PF1	0.897	3.65	3.91	4.12	4.69	0.037992	3.90	0.23	0.87	2.42
1	20	PF1	0.897	3.45	4.14	3.92	4.25	0.002920	1.49	0.60	0.87	0.57
1	10	PF1	0.897	3.35	3.82	3.82	4.06	0.007654	2.17	0.41	0.87	1.01

**Conclusioni e considerazioni circa la compatibilità idraulica**

Dai calcoli eseguiti emerge che la simulazione con una portata di massima piena con un tempo di ritorno pari a 200 anni di  $Q=0.598 \text{ mc/sec}$ , incrementata, in via del tutto cautelativa, del 50% pari a  $Q=0.299 \text{ mc/s}$ , considerando eventuali e/o possibili immissioni di acque antropiche nel canale stesso, pertanto con una portata totale pari a  **$Q=0.897 \text{ mc/s}$** , non sono state riscontrate criticità in corrispondenza di nessuna sezione, che risultano verificate ampiamente con un discreto margine, a differenza della sezione 20 dove il margine c'è, ma è più ridotto (circa 6 cm). Di seguito vengono riportati i margini in corrispondenza di ciascuna sezione:

Sez.10        28 cm  
 Sez.20        6 cm  
 Sez.30        49 cm  
 Sez.40        28 cm

Pertanto, alla luce di tali considerazioni si **esprime parere favorevole circa la compatibilità idraulica** dell'area oggetto di *Piano di Recupero Urbano con demolizione, ricostruzione e parziale ristrutturazione di edifici con ampliamento ed accorpamento in un unico complesso edilizio da realizzare tra via Settembrini, via Galliano e via Palermo, nel comune di Porto San Giorgio (FM)*, di proprietà *L.B.Immobiliare srl, Angelo e Maria Laura Brugnoni*, la quale, a seguito della *verifica completa di III livello* effettuata con analisi idrologica-idraulica, **risulta esente da fenomeni di esondazione da parte del fosso presente al di sotto del tracciato di via Settembrini, inoltre si esclude, per effetto dell'attuazione del progetto urbanistico, qualsiasi tipo di alterazione del regime idraulico sulle aree contermini, indotta dalle scelte urbanistiche, grazie al mantenimento dei piani campagna ante-operam anche dopo l'attuazione del progetto.**

## 1.7 INVARIANZA IDRAULICA

Per quanto riguarda *l'invarianza idraulica* del sito, dato che attualmente non sono state definite da parte dei progettisti del piano urbanistico le esatte estensioni e la natura delle superfici delle varie zone (edificato, zone impermeabilizzate, zone permeabili, giardino ecc...), **non può essere condotta in questa fase, la verifica per garantire l'invarianza idraulica del sito**, la quale dovrà essere necessariamente rimandata alle successive fasi di progettazione urbanistica ed edilizia, nel corso delle quali si dovrà provvedere alla verifica ed alla eventuale progettazione del sistema di laminazione delle acque pluviali, dato che la trasformazione urbanistica prevista non dovrà comportare un aggravio della portata di piena dei deflussi idrici superficiali al corpo idrico ricevente, rispetto a quelli antecedenti la trasformazione dell'uso del suolo. Tale obiettivo dovrà essere raggiunto attraverso opportune azioni compensative, mirate a prevedere dei volumi di stoccaggio temporaneo dei deflussi, che compensino, con un'azione laminante e ritardante, l'accelerazione degli stessi, regolando nel contempo le piene, ***mantenendo quindi inalterate le prestazioni idrauliche del bacino*** e la sicurezza territoriale dal punto di vista idraulico, nel tempo.

Inoltre, circa le indicazioni del metodo di smaltimento delle acque meteoriche previsto per l'intervento di trasformazione urbanistica in questione, da effettuare dopo la laminazione, si ritiene che dovranno essere mantenuti, per quanto possibile, i medesimi punti di recapito idrico, dello stato ante-operam del lotto, nel caso specifico costituiti da infiltrazione efficace (aree verdi del lotto esistente) e fognatura pubblica acque chiare (tetti e superfici impermeabili in genere).

## 1.8 SISMICITA' DELL'AREA

La normativa sismica italiana, anche alla luce degli ultimi terremoti, ha subito una notevole evoluzione e la Regione Marche, in attuazione delle leggi nazionali, ha prodotto nuove norme tendenti alla riduzione del rischio sismico. La Regione Marche in adempimento da quanto stabilito negli art.10 ed 11 della L.R. 33/84 ha emanato due circolari nell'Agosto del 1990, la n.14 e la n.15, la prima con maggiori riferimenti al PPAR mentre la seconda più strettamente sismica. In particolare nella circolare 15/90 vengono classificati e raggruppati i comuni marchigiani in tre livelli di rischio sismico e

rispettivamente, alto, medio e basso. Il territorio comunale di Porto San Giorgio all'interno del quale ricade l'area in esame è inserito fra quelli a **rischio sismico basso (livello C)**. In tale circolare vengono altresì definiti i livelli di pericolosità sismica di base dai quali partire per poter individuare, a livello di strumento urbanistico, aree nelle quali gli effetti attesi possono discostarsi da quelli individuati nella circolare stessa.

### **1.8a Le condizioni del rischio sismico**

Diverse sono le definizioni del rischio sismico a seconda del tipo di approccio, ma tutte sono in relazione alla definizione dei possibili effetti di un terremoto. Le indagini richieste dalla L. 33/84, sono finalizzate alla valutazione del rischio sismico alla scala delle scelte generali del piano urbanistico, che incidono su tutto l'assetto urbano. Con il termine rischio sismico s'intende una misura del danno che può essere prodotto da un terremoto preso come riferimento. I danni attesi conseguenti al terremoto non sono una semplice somma dei danni di ciascun fabbricato, ma è necessario considerare anche il danno al sistema infrastrutturale, i morti, i feriti e la improvvisa perdita di produttività, ed i disagi che ne derivano.

A determinare il rischio sismico concorrono, in misura diversa, alcuni fattori quali:

- *la pericolosità sismica*, cioè le caratteristiche del terremoto atteso nella località e la sua probabilità di ricorrenza.
- *la risposta sismica locale*, ovvero le diversificazioni del terremoto atteso in relazione a condizioni geologiche, geomorfologiche e geotecniche locali, valutabili a scala di dettaglio.
- *la vulnerabilità*, ovvero la predisposizione dei manufatti esistenti e di progetto a subire danni in caso di terremoto.
- *l'esposizione al terremoto*, cioè la distribuzione delle attività localizzate nel territorio urbanizzato e infrastrutturato, nonché del carico urbanistico inteso negli aspetti demografici e occupazionali, nelle specifiche articolazioni delle destinazioni d'uso, delle densità edilizie, della dotazione impiantistica e delle loro interconnessioni.

Nel nostro caso, le indagini e le valutazioni, rientrano nell'ambito delle indicazioni della circolare n.15/90 della Regione Marche e sono finalizzate al riconoscimento degli elementi e delle zone a maggior pericolosità sismica. Gli altri aspetti di *vulnerabilità* ed *esposizione* sono maggiormente ambiti di tipo urbanistico-ingegneristico e valutazioni di sintesi non ottenibili in questa sede. In applicazione alla circolare n.15/90 è necessario considerare un livello base di rischio ed i relativi danni ad esso connessi. Il livello base di rischio sismico stabilito per l'area in questione, visto che non esistono condizioni particolari, è

riferibile al livello "C" (rischio sismico basso), per il quale sono attese le seguenti tipologie di danno:

- limitati casi (5%) di danneggiamento strutturale;
- danneggiamento non strutturale diffuso;
- limitati casi di inagibilità;
- evacuazione limitata;
- crisi temporanea della funzionalità del sistema urbano.

Nella **Carta della pericolosità sismica locale**, redatta per l'intera area oggetto di Piano Particolareggiato di Recupero, è stata individuata e classificata una zona a risposta sismica omogenea (microzonazione), con un grado di rischio sismico (*basso*), caratterizzata da un insieme di parametri che concorrono, in maniera diversa, a modificare le azioni sismiche previste per il livello-base (livello C). In particolare è stato attribuito un grado di pericolosità sismica locale **basso** all'intera area in oggetto. Il lotto risulta infatti caratterizzato da una morfologia sub-pianeggiante, geologicamente distinto dalla presenza di sedimenti da "debolmente coerenti" a incoerenti grossolani (sabbia ghiaiosa), dalle caratteristiche geomeccaniche da buone a ottime, che risultano, soprattutto i sedimenti sabbioso-ghiaiosi, scarsamente compressibili e non soggetti a fenomeni di liquefazione in caso di sisma, dato il fuso granulometrico per lo più gossolano dei sedimenti che compongono il litotipo (vedi carta della pericolosità sismica locale Tav.6 allegata in appendice).

### 1.8b Microzonazione sismica

(*Norme Tecniche per le Costruzioni*, D.M. 14/01/2008)

Coordinate WGS84 lotto: **Latitudine 43.175367°N, Longitudine 13.797044°E**

**Condizioni topografiche Categoria T1**, superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$  (Tabella 3.2.IV - Categorie topografiche), (vedi considerazioni prf 1.2.).

All'interno dell'area in questione è stata condotta, inoltre, in data *10 Febbraio 2011*, un'indagine geofisica attraverso l'acquisizione di n.1 registrazione a stazione singola di microtremore ambientale mediante tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (*Nakamura*), denominata Tr1, al fine di determinare la velocità di propagazione delle onde di taglio ( $V_{s30}$ ) come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 Gennaio 2008. Dallo studio è stato determinato un valore di  $V_{s30}$  **pari a 235 m/sec**, pertanto alla

luce dei risultati della sismica effettuata e tenendo conto anche delle risultanze delle prove penetrometriche eseguite in situ, il suolo di fondazione, del comparto edilizio da recuperare oggetto di studio, può essere classificato facendo riferimento alla normativa vigente (DM 14/01/08) ad una "**categoria di suolo di tipo "C"**, ovvero depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente 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 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT_{30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < Cu_{30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina).

Nella valutazione della categoria di suolo e nell'approccio alla progettazione strutturale delle opere in questione, non vanno comunque trascurate le informazioni acquisite con l'indagine sismica circa la frequenza di risonanza del sito. Infatti nel caso specifico è stata individuata una **frequenza caratteristica di risonanza del terreno prossima a 9.0 Hz ed una leggermente più profonda a 4.5-5.0 Hz**, a significare che il terreno in questione amplifica le onde di superficie (ed in misura leggermente diversa quelle S) a quella frequenza rispetto all'imput su bedrock di riferimento. Ovviamente sarà cura del progettista, al fine di evitare pericolosi fenomeni di doppia risonanza in caso di sisma, progettare delle strutture con frequenze fondamentali di oscillazione lontane (*superiori per un fattore di moltiplicazione di almeno 1.4, o meglio, minori*) da quelle tipiche del terreno nel sito specifico di edificazione.

## 1.9 FATTIBILITÀ GEOLOGICA DELL'AREA

La carta della fattibilità geologica dell'area (*vedi Tav. 8, allegata in appendice*) redatta per l'intera area in esame rappresenta a tutti gli effetti il documento di sintesi dello studio eseguito, in quanto riassume le informazioni sulle caratteristiche litologo-tecniche, nonché sulla risposta sismica locale, suddividendo l'area investigata in diverse categorie di edificabilità.

In particolare è stato definito un grado di fattibilità geologica **Alto** che interessa l'intera zona investigata, in rapporto alle condizioni geologiche, geomorfologiche, geotecniche, ma soprattutto di risposta sismica locale



esistenti.

Quindi la zonazione effettuata sulla base può essere così riassunta:

**GRADO ALTO:** Contraddistingue l'intera area progetto (vedi tav.8 allegata in appendice) la quale, contrassegnata da un *basso grado di pericolosità sismica locale rispetto al livello-base*, da un *basso grado di pericolosità geologiche* presenta una morfologia sub-pianeggiante e risulta caratterizzata da un deposito grossolano costiero e/o di ambiente di transizione di discreto spessore dalle buone qualità geomeccaniche, non soggetto a particolari problematiche sismiche, nel caso vengano progettati edifici con frequenze fondamentali di risonanza differenti da quelle del terreno; terreno per il quale si escludono, inoltre, rischi di liquefazione.

Su tale area è consentita generalmente l'edificazione senza particolari prescrizioni pur nel rispetto della normativa vigente ( L.64 del 2.02.74 e D.M. 11.03.88, DM 14.01.08). La scelta della tipologia di fondazione da adottare per la/e nuova/e costruzione/i quindi scaturirà principalmente dall'analisi costi benefici in rapporto alla capacità portante del terreno, dei relativi cedimenti previsti in fase di progetto e delle ulteriori interazioni terreno-strutture.

## 1.10 CONCLUSIONI

In considerazione di quanto suesposto, **si esprime parere favorevole circa la fattibilità geologica per il Piano di Recupero Urbano con demolizione, ricostruzione e parziale ristrutturazione di edifici con ampliamento ed accorpamento in un unico complesso edilizio da realizzare tra via Settembrini, via Galliano e via Palermo, nel comune di Porto San Giorgio (FM)**, di proprietà di **L.B.Immobiliare srl, Angelo e Maria Laura Brugnoli**. Le attuali condizioni del sottosuolo non verranno interessate da variazioni significative, pertanto l'attuale e naturale stabilità dell'area è comunque garantita anche a seguito delle singole opere. Sulla base delle risultanze dell'indagine svolta, si ritiene vi sia la possibilità di adottare una tipologia

edificatoria non condizionata da particolari prescrizioni geologiche, salvo quelle legate alla scelta del piano di posa e della tipologia fondale degli edifici come previsto dal D.M. 11.03.'88, DM 14.01.'08 e successivi. Si esprime altresì **parere favorevole circa la compatibilità idraulica dell'area**, la quale, a seguito della **verifica completa di III livello** effettuata con analisi idrologica-idraulica, **risulta esente da fenomeni di esondazione da parte del fosso presente al di sotto del tracciato di via Settembrini, inoltre si esclude, per effetto dell'attuazione del progetto urbanistico, qualsiasi tipo di alterazione del regime idraulico sulle aree contermini, indotta dalle scelte urbanistiche, grazie al mantenimento dei piani campagna ante-operam anche dopo l'attuazione del progetto che garantirà il mantenimento delle attuali linee di deflusso delle acque dilavanti, per le aree contermini.**

Infine si allega alla presente relazione, fuori testo, la dichiarazione dello scrivente, in qualità di tecnico incaricato, circa la verifica-asseverazione di compatibilità idraulica della trasformazione urbanistica in questione, nel rispetto di quanto dettato dalla LR 22/2011 art 10 e dei contenuti dei "criteri, modalità e indicazioni tecnico-operative per la redazione della verifica di compatibilità idraulica degli strumenti di pianificazione territoriale e per l'invarianza idraulica delle trasformazioni territoriali" (BUR Marche n.19 del 17/02/2014).

Porto Sant'Elpidio, 30 Dicembre 2016

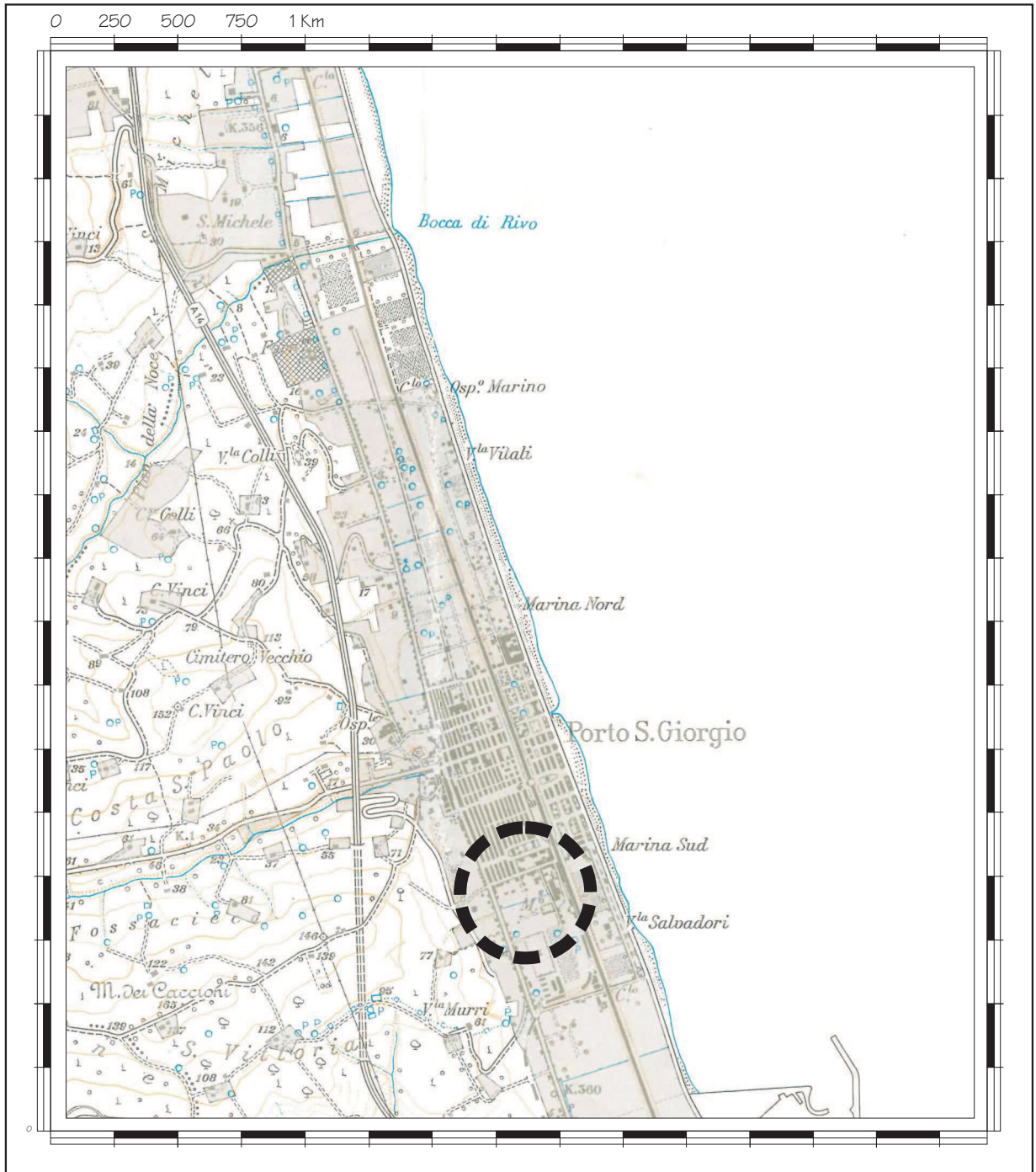
il geologo  
Dr. Massimo Basili  
ORDINE DEI GEOLOGI DELLA REGIONE MARCHE  
geologo specialista  
numero 277 albo sezione A (1999)



# CARTA TOPOGRAFICA REGIONALE REGIONE MARCHE RILIEVO DEL 1984



Scala 1:25.000



stralcio Carta Topografica Regionale, Regione Marche, Foglio 125 Fermo, quadrante 125 I  
comune di Porto San Giorgio (FM)

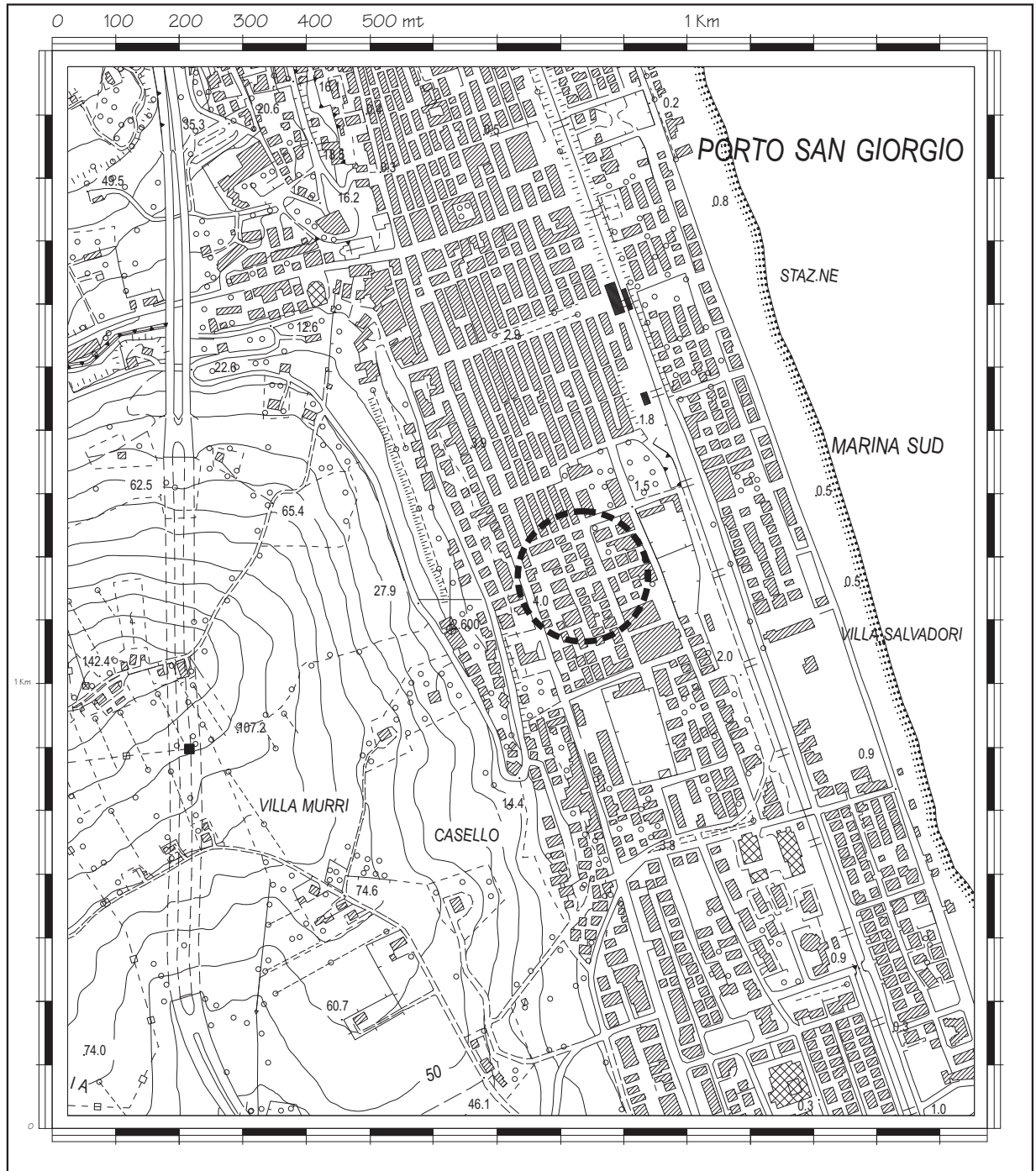


AREA DI INDAGINE

# COROGRAFIA



Scala 1:10.000



stralcio Carta Tecnica Regionale n.315020, comune di Porto San Giorgio (FM)



AREA DI INDAGINE



# COROGRAFIA

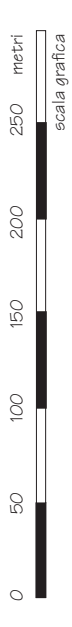
area in esame



stralcio foto satellitare comune di Porto San Giorgio (FM), Via Galliano angolo Via Settembrini e Via Palermo



CARTA GEOLOGICA e GEOMORFOLOGICA  
scala 1:5 000



TAV.1



LEGENDA

- ingombro area oggetto di variante
- Depositi alluvionali e/o costieri attuali (IV ordine)  
- Ghiaie e sabbie
- Depositi colluviali (oltre) interdigitati a depositi alluvionali e/o costieri  
- Limiti argilloso sabbiosi e/o sabbie limose
- scarpata antropica  
- forme e processi antropici





CARTA DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO  
Aggiornata al 2016

Tavola RI 60a  
SCALA 1:10.000



PROIEZIONE CONFORME DI GAUSS-BOAGA (SISTEMA NAZIONALE)

L'equidistanza fra le curve di livello è di m 10

Base Cartografica: C.T.R. regionale 1:10.000 (agg. 2000)

-Carta dei bacini idrografici

LEGENDA

Aree a rischio frana  
(Codice F - xx - yyyy)

- Rischio moderato (R1)
- Rischio medio (R2)
- Rischio elevato (R3)
- Rischio molto elevato (R4)

Aree a rischio esondazione  
(Codice E - xx - yyyy)

- Rischio moderato (R1)
- Rischio medio (R2)
- Rischio elevato (R3)
- Rischio molto elevato (R4)

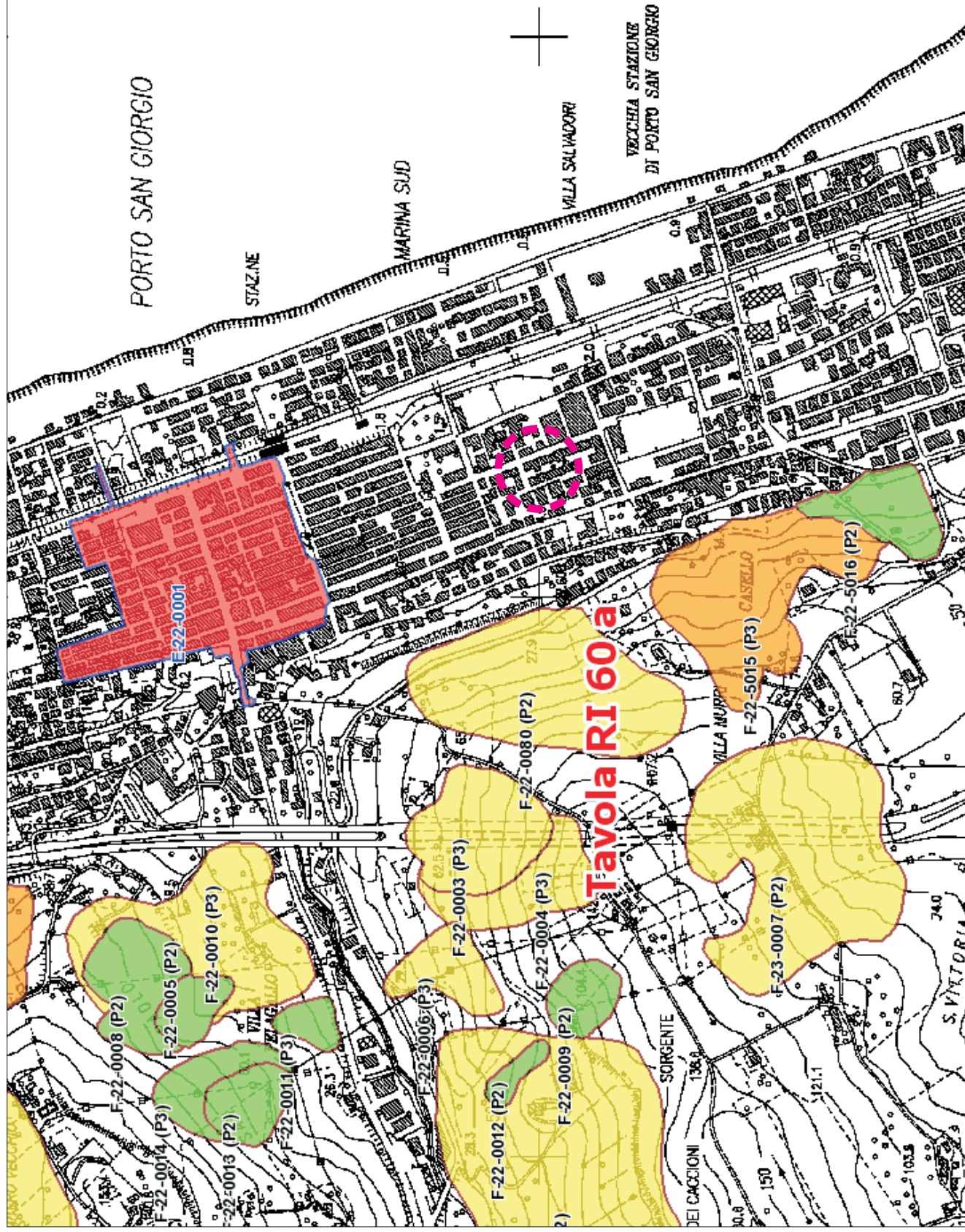
Aree a rischio valanga  
(Codice V - xx - yyyy)

- Rischio molto elevato (R4)

Limite di Bacino Idrografico

DESCRIZIONE CODICE LEGATO AI FENOMENI

Z - XX - YYYY  
 numero identificativo di bacino  
 numero progressivo fenomeno  
 iniziale tipo di rischio



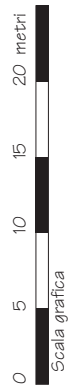
Comune di Porto San Giorgio (FM), Via Galliano angolo Via Settembrini e Via Palermo



area in esame

PLANIMETRIA

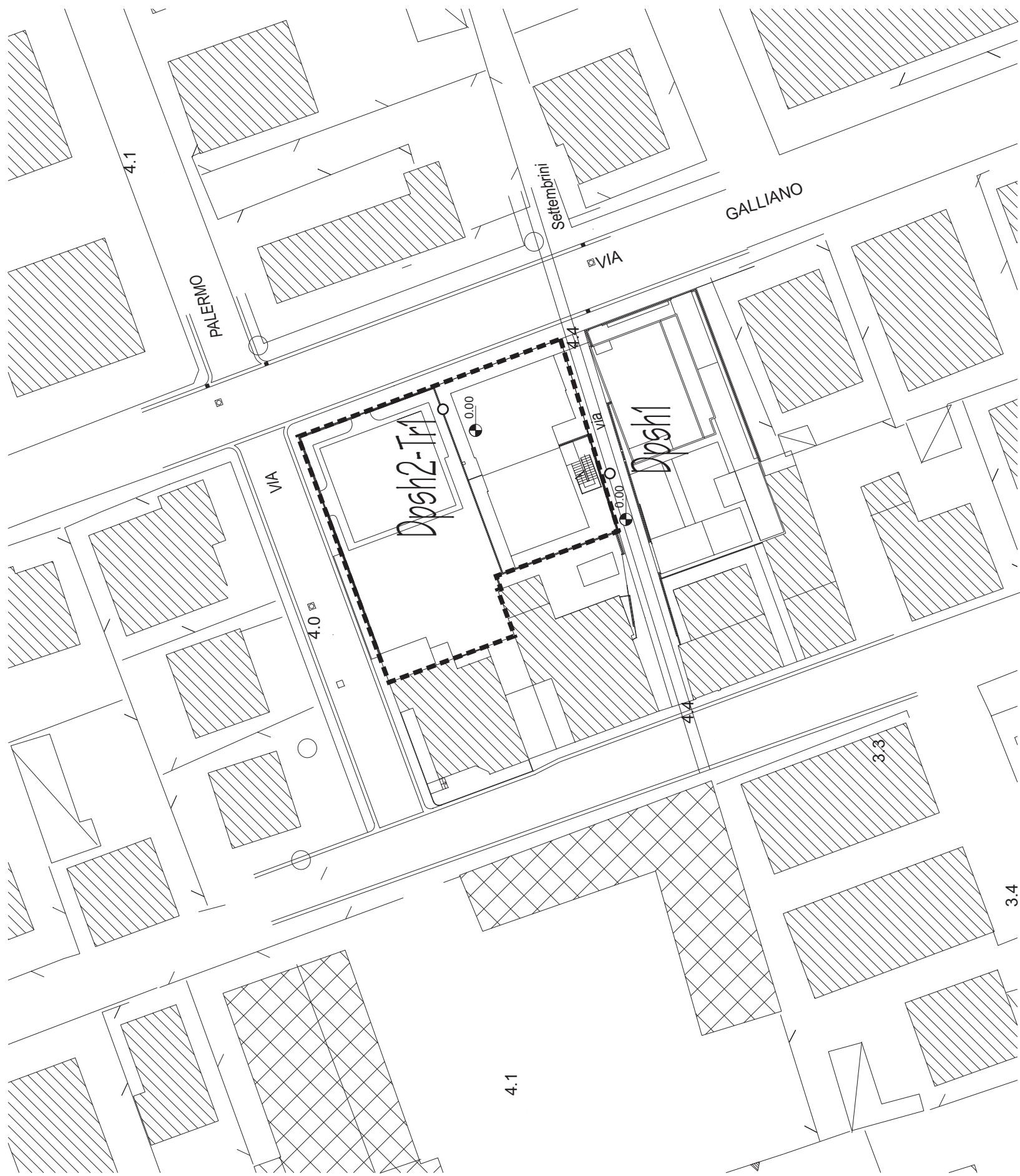
rapp. 1:500



TAV. 2

LEGENDA

	ingombro area in esame
	ubicazione prove penetr. dinamiche super-pesanti
	ubicazione indagine geofisica HVSR (Tromino)
	quote topografiche assolute





# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SUPER-PESANTE DPSH

## CARATTERISTICHE TECNICHE STRUMENTALI

Tipo:	Pagani TG 63-100 EML.C
Peso maglio:	63.5 Kg
Altezza di caduta:	75.0 cm
Peso sistema di battuta:	0.63 Kg
Diametro punta conica:	5.1 cm
Area di base punta	20.43 cmq
Lunghezza aste: 100 cm	
Peso aste:	6.31 Kg/m
Profondità giunzione prima asta:	40 cm
Avanzamento punta:	20 cm
Angolo di apertura punta:	60°

## CLASSIFICAZIONE ISSMFE (1988) DELLE SONDE PENETROMETRICHE DINAMICHE

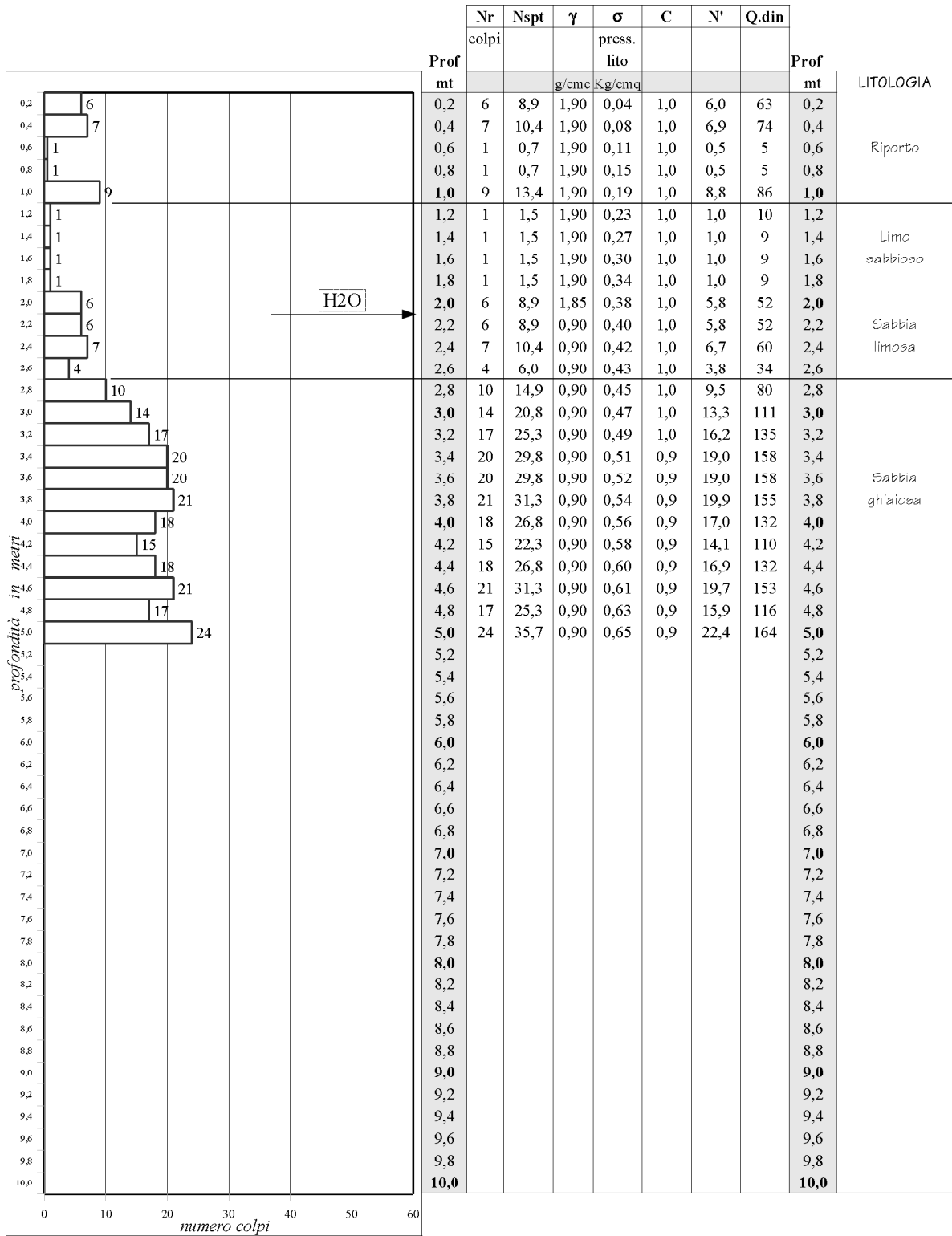
Tipo	Sigla di riferimento	Peso della massa battente in Kg
Leggero	DPL (Light)	M<10
Medio	DPM (Medium)	10<M<40
Pesante	DPH (Heavy)	40<M<60
Super pesante	DPSH (Super Heavy)	M>60

## LEGENDA PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA

Nr	= numero colpi;
Nspt	= numero colpi SPT ( $Nr \cdot \text{coefficiente di correlazione pari a } 1.489$ );
$\gamma$	= peso di volume del terreno;
$\sigma$	= pressione verticale efficace;
C	= coefficiente di efficienza strumentale e riduzione litostatica;
N'	= numero colpi corretto ( $Nr \cdot C$ );
Q.din	= resistenza dinamica alla punta $Rpd$ (funzione del numero di colpi N) FORMULA OLANDESE $Rdp = M^2 H / (A e (M+P)) = M^2 H N / (A \delta (M+P))$ ;
Cu	= coesione non drenata;
Ed	= modulo edometrico;
Dr	= densità relativa (Meyerhof, 1957);
$\phi$	= angolo di attrito;
Es	= modulo di elasticità;
Ris. liq.	= $a > 0.2g$ , $I > VIII$ Mercalli (Shi-Ming, 1982)

**PROVA DPSH 1**

Committente: L.B. Immobiliare Italia srl  
 Località: Via Galliano n.157-162, Porto San Giorgio (FM)  
 Comune:  
 Data: 10 Febbraio 2011  
 Falda -2.00 mt p.c.  
 note:



Penetrometro dinamico super-pesante (DPSH) Pagani TG63-100  
 Maglio 63.5 Kg, Volata 75 cm., Punta conica diam. 51 mm. (area 23.43 cm<sup>2</sup>, apertura 60°)  
 Prova eseguita in assenza di aste di rivestimento

**PROVA DPSH 1**

Committente: L.B. Immobiliare Italia srl

Località: Via Galliano n.157-162, Porto San Giorgio (FM)

Data: 10 Febbraio 2011

Falda -2.00 mt p.c.

LITOLOGIA	Prof mt	Nr colpi	Q.din	$\gamma$ g/cm <sup>3</sup>	$\sigma$ Kg/cm <sup>2</sup>	NATURA COESIVA		NATURA GRANULARE				Prof mt	
						Cu non drenat	Ed edometrico	Dr	$\phi$ attrito	Es elasticità	rischio liquefazione		
													medie
						Kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	gradi	kg/cm <sup>2</sup>				
Riparto	0,2	6	63	1,90	0,04		152					0,2	
	0,4	7	74	1,90	0,08		177					0,4	
	0,6	1	5	1,90	0,11		13					0,6	
	0,8	1	5	1,90	0,15		11					0,8	
	<b>1,0</b>	9	86	1,90	0,19		206					<b>1,0</b>	
Limo sabbioso	1,2	1	10	1,90	0,23	0,43	23	22				1,2	
	1,4	1	9	1,90	0,27	0,43	23					1,4	
	1,6	1	9	1,90	0,30	0,42	23					1,6	
	1,8	1	9	1,90	0,34	0,39	21					1,8	
Sabbia limosa	<b>2,0</b>	6	52	1,85	0,38				59	29,2	124		<b>2,0</b>
	2,2	6	52	0,90	0,40				58	29,2	124	119	2,2
	2,4	7	60	0,90	0,42				63	29,7	145		2,4
	2,6	4	34	0,90	0,43				47	28,2	82		2,6
Sabbia ghiaiosa	2,8	10	80	0,90	0,45				73	30,9	191		2,8
	<b>3,0</b>	14	111	0,90	0,47				>80	32,8	267		<b>3,0</b>
	3,2	17	135	0,90	0,49				>80	33,8	324		3,2
	3,4	20	158	0,90	0,51				>80	34,6	380		3,4
	3,6	20	158	0,90	0,52				>80	34,6	379		3,6
	3,8	21	155	0,90	0,54				>80	34,5	371	321	3,8
	<b>4,0</b>	18	132	0,90	0,56				>80	33,7	318		<b>4,0</b>
	4,2	15	110	0,90	0,58				>80	32,7	264		4,2
	4,4	18	132	0,90	0,60				>80	33,7	316		4,4
	4,6	21	153	0,90	0,61				>80	34,5	368		4,6
	4,8	17	116	0,90	0,63				>80	33,1	279		4,8
	<b>5,0</b>	24	164	0,90	0,65				>80	34,8	393		<b>5,0</b>
	5,2												5,2
	5,4												5,4
	5,6												5,6
	5,8												5,8
	<b>6,0</b>												<b>6,0</b>
	6,2												6,2
	6,4												6,4
	6,6												6,6
6,8												6,8	
<b>7,0</b>												<b>7,0</b>	
7,2												7,2	
7,4												7,4	
7,6												7,6	
7,8												7,8	
<b>8,0</b>												<b>8,0</b>	
8,2												8,2	
8,4												8,4	
8,6												8,6	
8,8												8,8	
<b>9,0</b>												<b>9,0</b>	
9,2												9,2	
9,4												9,4	
9,6												9,6	
9,8												9,8	
<b>10,0</b>												<b>10,0</b>	

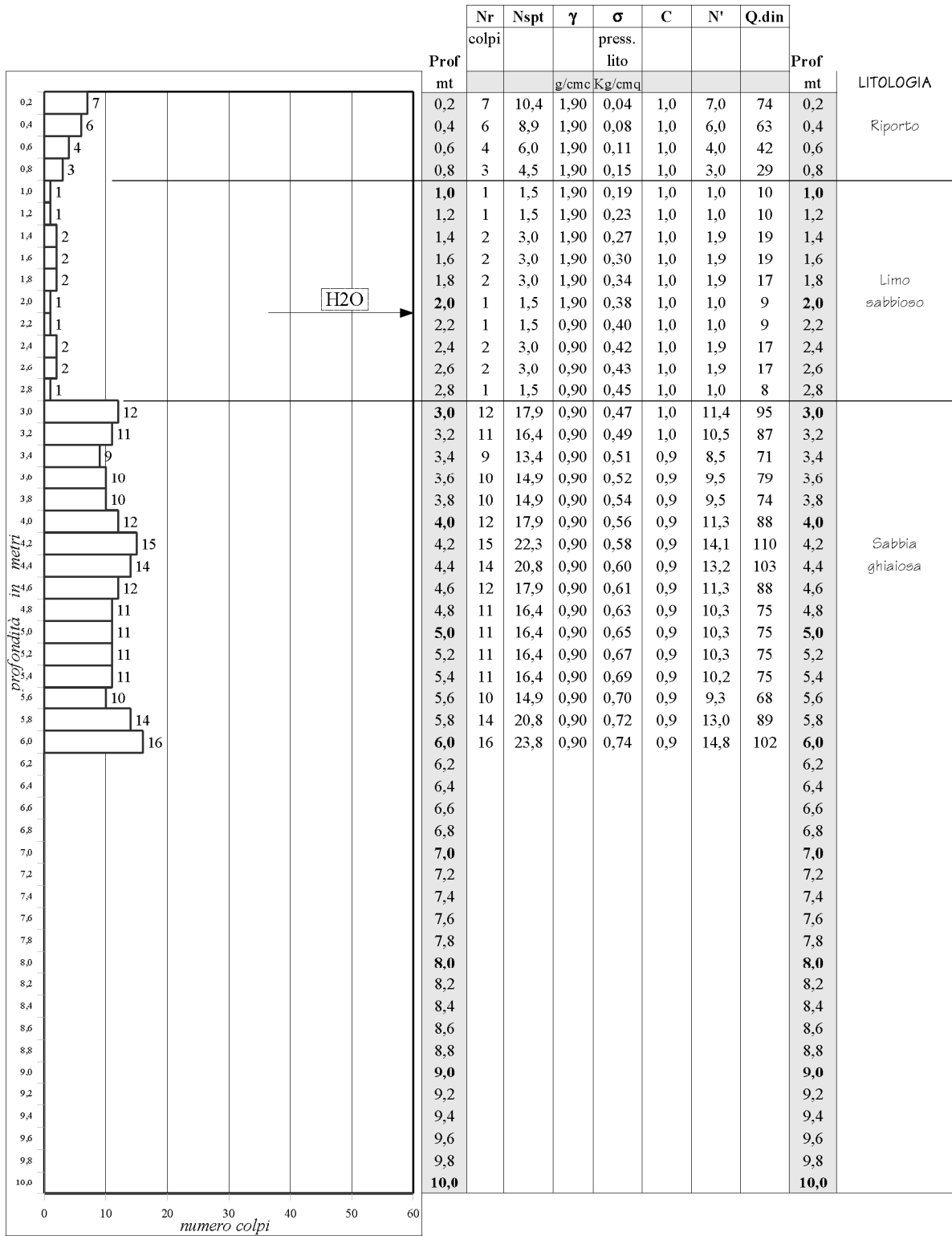
Penetrometro dinamico super-pesante (DPSH) Pagani TG63-100

Maglio 63,5 Kg, Volata 75 cm., Punta conica diam. 51 mm. (area 23,43 cm<sup>2</sup>, apertura 60°)

Prova eseguita in assenza di aste di rivestimento

**PROVA DPSH 2**

Committente: L.B. Immobiliare Italia srl  
 Località: Via Galliano n.157-162, Porto San Giorgio (FM)  
 Comune:  
 Data: 10 Febbraio 2011  
 Falda -2.00 mt p.c.  
 note:  
 DOCUMENTAZIONE REPERITA



Penetrometro dinamico super-pesante (DPSH) Pagani TG63-100  
 Maglio 63,5 Kg, Volata 75 cm., Punta conica diam. 51 mm. (area 23,43 cm<sup>2</sup>, apertura 60°)  
 Prova eseguita in assenza di aste di rivestimento

**PROVA DPSH 2**

Committente: L.B. Immobiliare Italia srl

Località: Via Galliano n.157-162, Porto San Giorgio (FM)

Data: 10 Febbraio 2011

Falda -2.00 mt p.c.

LITOLOGIA	Prof mt	Nr colpi	Q.din	$\gamma$ g/cm <sup>3</sup>	$\sigma$ Kg/cm <sup>2</sup>	NATURA COESIVA		NATURA GRANULARE				Prof mt	
						non drenat	Ed edometrico	Dr	$\phi$ attrito	Es elasticità	rischio liquefazione		
													medie
						Kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	gradi	kg/cm <sup>2</sup>				
Riperto	0,2	7	74	1,90	0,04		177					0,2	
	0,4	6	63	1,90	0,08		152					0,4	
	0,6	4	42	1,90	0,11		101					0,6	
	0,8	3	29	1,90	0,15		69					0,8	
Limo sabbioso	1,0	1	10	1,90	0,19	0,43	23					1,0	
	1,2	1	10	1,90	0,23	0,43	23					1,2	
	1,4	2	19	1,90	0,27	0,70	45					1,4	
	1,6	2	19	1,90	0,30	0,69	45					1,6	
	1,8	2	17	1,90	0,34	0,66	42	32				1,8	
	2,0	1	9	1,90	0,38	0,39	21					2,0	
	2,2	1	9	0,90	0,40	0,39	21					2,2	
	2,4	2	17	0,90	0,42	0,66	41					2,4	
	2,6	2	17	0,90	0,43	0,66	41					2,6	
	2,8	1	8	0,90	0,45	0,36	19					2,8	
Sabbia ghiaiosa	3,0	12	95	0,90	0,47				80	31,8	229		3,0
	3,2	11	87	0,90	0,49				76	31,3	209		3,2
	3,4	9	71	0,90	0,51				68	30,4	171		3,4
	3,6	10	79	0,90	0,52				71	30,8	190		3,6
	3,8	10	74	0,90	0,54				70	30,5	177		3,8
	4,0	12	88	0,90	0,56				76	31,4	212		4,0
	4,2	15	110	0,90	0,58				>80	32,7	264		4,2
	4,4	14	103	0,90	0,60				>80	32,3	246	203	4,4
	4,6	12	88	0,90	0,61				75	31,4	210		4,6
	4,8	11	75	0,90	0,63				71	30,6	181		4,8
	5,0	11	75	0,90	0,65				70	30,6	180		5,0
	5,2	11	75	0,90	0,67				70	30,6	180		5,2
	5,4	11	75	0,90	0,69				69	30,6	180		5,4
	5,6	10	68	0,90	0,70				66	30,2	163		5,6
	5,8	14	89	0,90	0,72				77	31,5	214		5,8
	6,0	16	102	0,90	0,74				>80	32,2	244		6,0
		6,2											6,2
		6,4											6,4
		6,6											6,6
		6,8											6,8
	7,0											7,0	
	7,2											7,2	
	7,4											7,4	
	7,6											7,6	
	7,8											7,8	
	8,0											8,0	
	8,2											8,2	
	8,4											8,4	
	8,6											8,6	
	8,8											8,8	
	9,0											9,0	
	9,2											9,2	
	9,4											9,4	
	9,6											9,6	
	9,8											9,8	
	10,0											10,0	

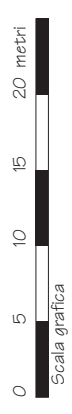
Penetrometro dinamico super-pesante (DPSH) Pagani TG63-100

Maglio 63,5 Kg, Volata 75 cm., Punta conica diam. 51 mm. (area 23,43 cm<sup>2</sup>, apertura 60°)

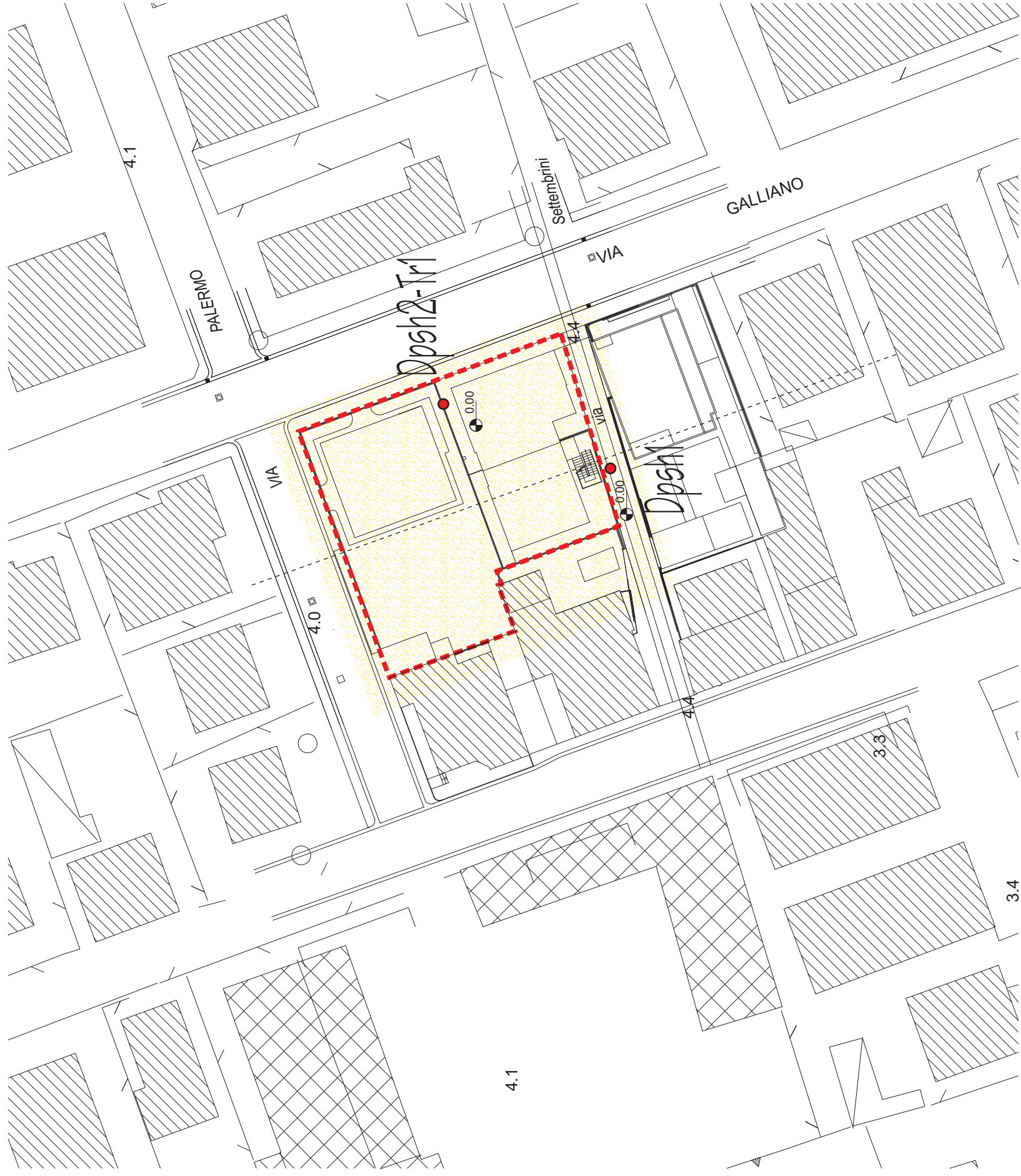
Prova eseguita in assenza di aste di rivestimento

CARTA LITOLOGICO-TECNICA

rapp. 1:500



TAV. 3



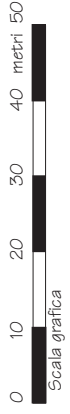
LEGENDA

	ingombro area in esame
	ubicazione prove penetr. dinamiche super-pesanti
	ubicazione indagini geofisica HVSR (Tromino)
	quote topografiche assolute
	traccia sezione geologico-litotecnica

UNITA' LITOTECNICHE	Caratteristiche granulometriche e proprietà tecniche	Caratteristiche genetiche UNITA' LITO-STRATIGRAFICHE
	Sabbie limose talora limi sabbiosi	depositi alluvionali/litoranei
E2		

CARTA IDROGEOLOGICA

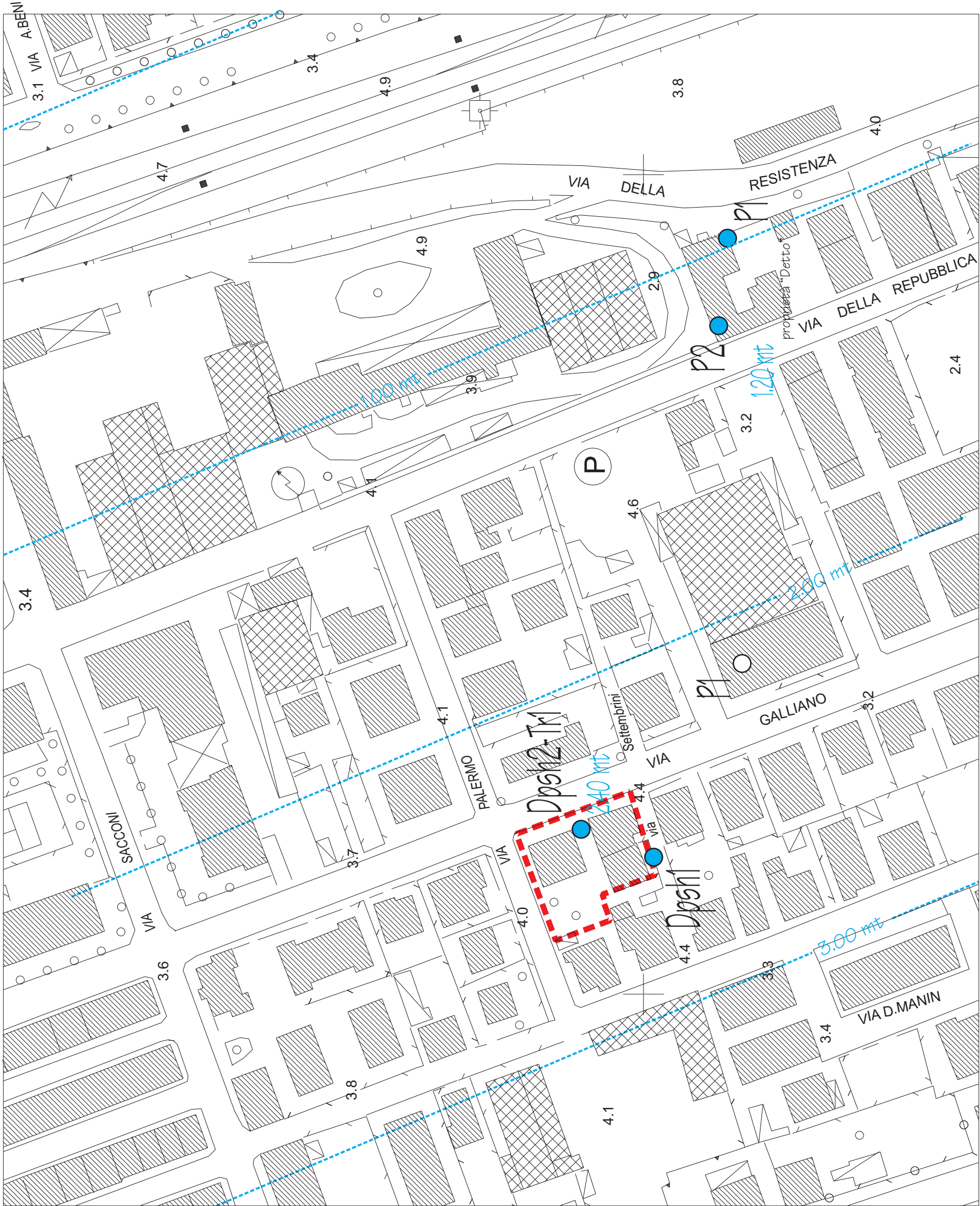
rapp. 1:1000



TAV. 4

LEGENDA

	ingombro area in esame
	ubicazione prove penetr. dinamiche reperite (livello freatico assoluto)
	curve isoplezometriche (quote in mt sim)
	asse di drenaggio preferenziale sotterraneo

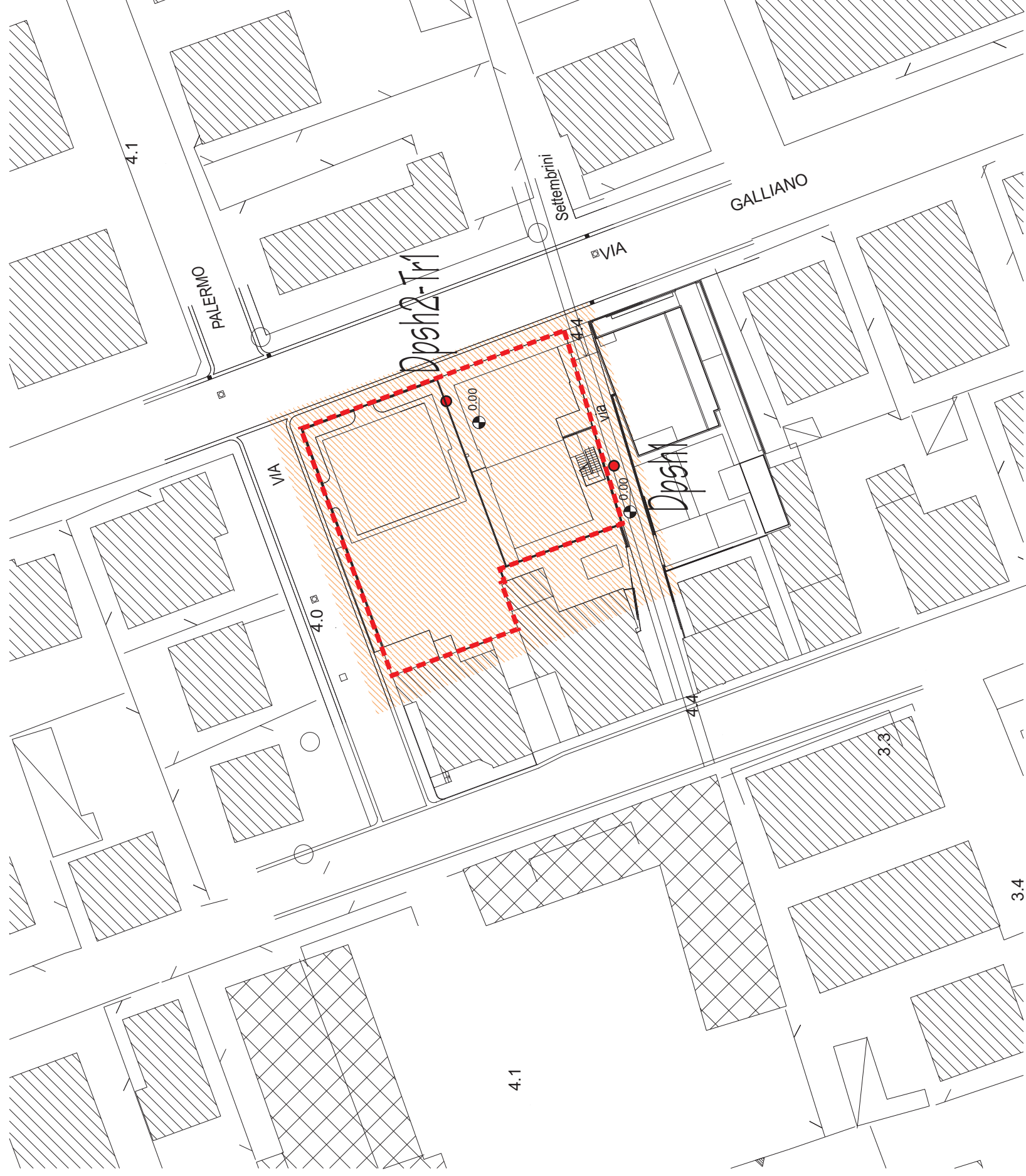


CARTA DELLE PERICOLOSITA'  
GEOLOGICHE

rapp. 1:500



TAV. 5



LEGENDA

	ingombro area in esame
	ubicazione prove penetr. dinamiche super-pesanti
	ubicazione indagini geofisica HVSR (Tromino)
	quote topografiche assolute

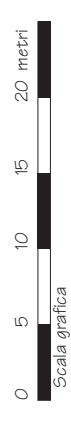
GRADO DI PERICOLOSITA'

	BASSO	aree di fondovalle e/o litoranee caratterizzate da depositi alluvionali-costeri, interessate da falda freatica superficiale (Vulnerabilità dell'acquifero)
--	-------	--

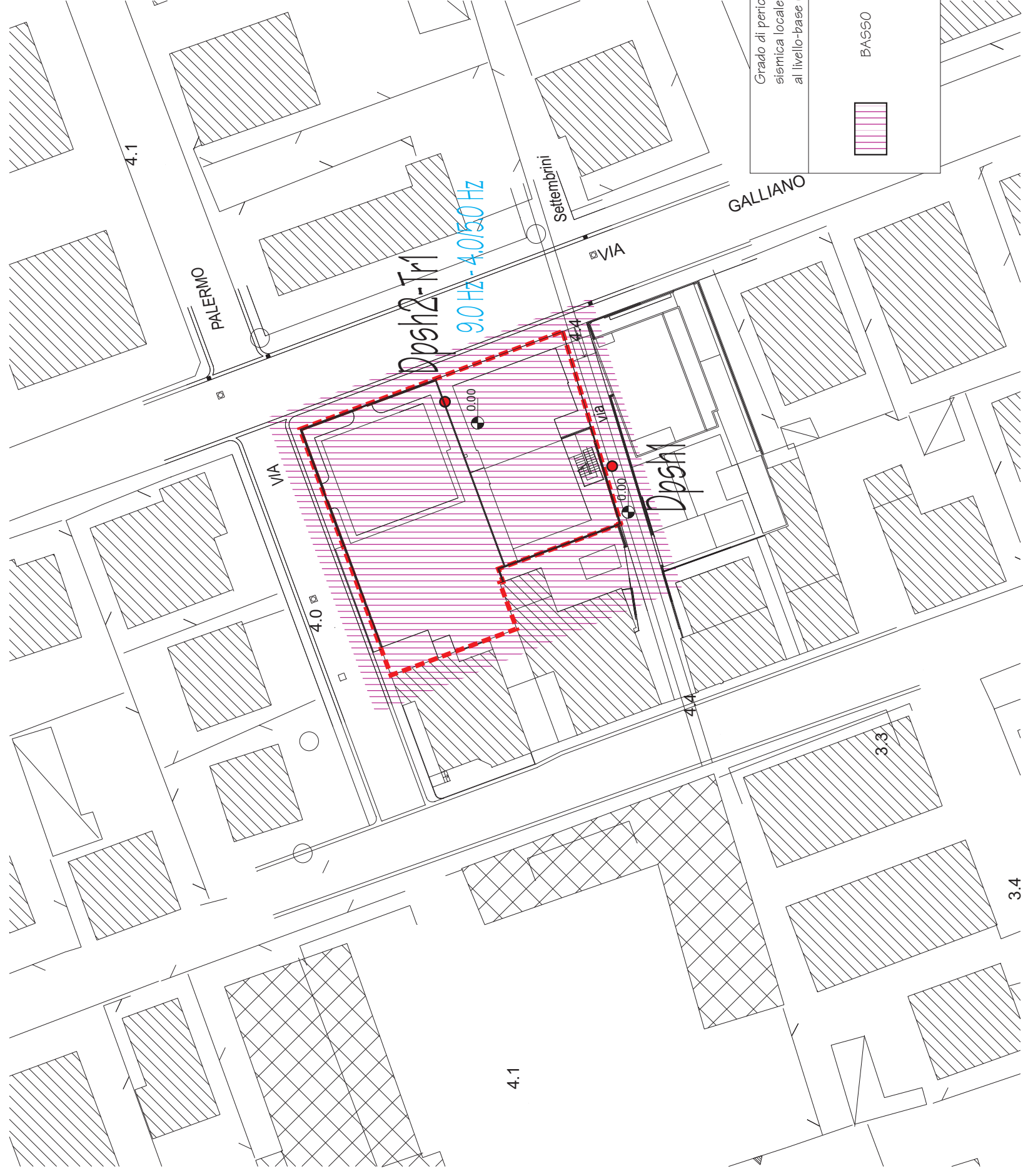


CARTA DELLA PERICOLOSITA'  
SISMICA LOCALE

rapp. 1:500



TAV. 6



LEGENDA

	ingombro area in esame
	ubicazione prove penetr. dinamiche super-pesanti
	ubicazione indagine geofisica HVSR (Tromino)
	frequenza caratteristica di oscillazione del terreno in caso di sisma
	quote topografiche assolute

Grado di pericolosità sismica locale rispetto al livello-base (livello C)	Tipologia delle situazioni	Possibili effetti in caso di terremoto
 BASSO	aree di fondo valle e/o litoranee (terreni medio-grossolani in presenza di falda)	possibili amplificazioni sismiche con rischi di doppia risonanza terreno-strutture, nel caso di edifici progettati con frequenze fondamentali di oscillazione prossime a quelle registrate sul terreno ed indicate nei punti di misura Trn

# CARTA MICROZONAZIONE SISMICA





Norme Tecniche delle Costruzioni D.M. 14/01/2008

rapp. 1:500  
Scala grafica  
0 5 10 15 20 metri










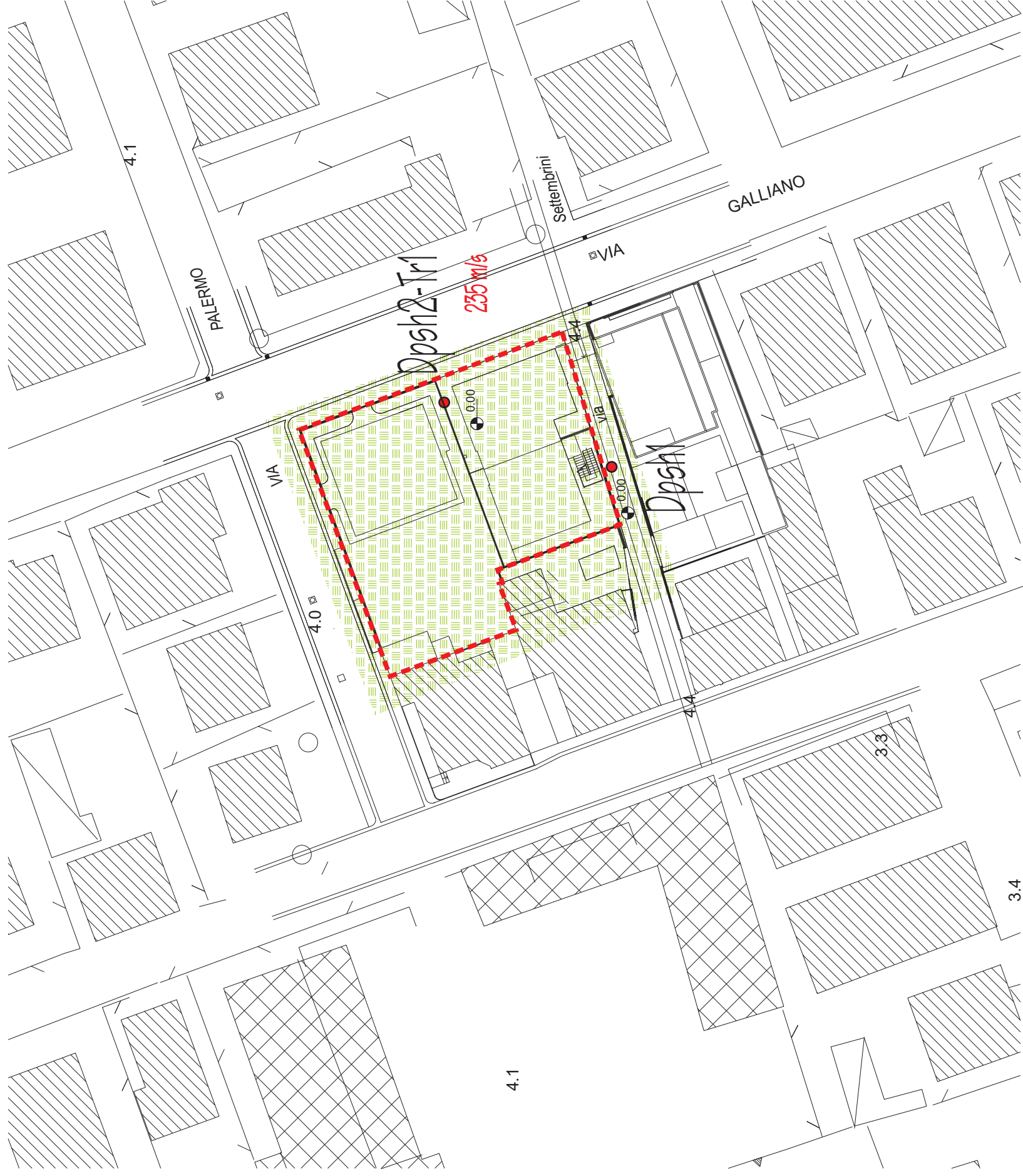
TAV. 7

**LEGENDA**

	ingombro area in esame
	ubicazione prove penetr. dinamiche super-pesanti
	ubicazione indagine geofisica HVSR (Tromino)
	quote topografiche assolute

**Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M. 14/01/2008**

	<b>A</b>	Area caratterizzata da suoli di fondazione appartenenti alla <u>Categoria di sottosuolo A</u>
	<b>B</b>	Area caratterizzata da suoli di fondazione appartenenti alla <u>Categoria di sottosuolo C</u>
	<b>C</b>	Area caratterizzata da suoli di fondazione appartenenti alla <u>Categoria di sottosuolo E</u> con un valore di $v_{30}$ pari a 235 m/s determinati mediante indagine geofisica HVSR (Tromino -tromografo digitale) e da una <u>Categoria topografia di II</u> (superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$ )
	<b>D</b>	Area caratterizzata da suoli di fondazione appartenenti alla <u>Categoria di sottosuolo D</u>
	<b>E</b>	Area caratterizzata da suoli di fondazione appartenenti alla <u>Categoria di sottosuolo E</u>
	<b>S1</b>	Area caratterizzata da suoli di fondazione appartenenti alla <u>Categoria di sottosuolo S1</u>
	<b>S2</b>	Area caratterizzata da suoli di fondazione appartenenti alla <u>Categoria di sottosuolo S2</u>



4.1

CARTA DELLA FATTIBILITA' GEOLOGICA

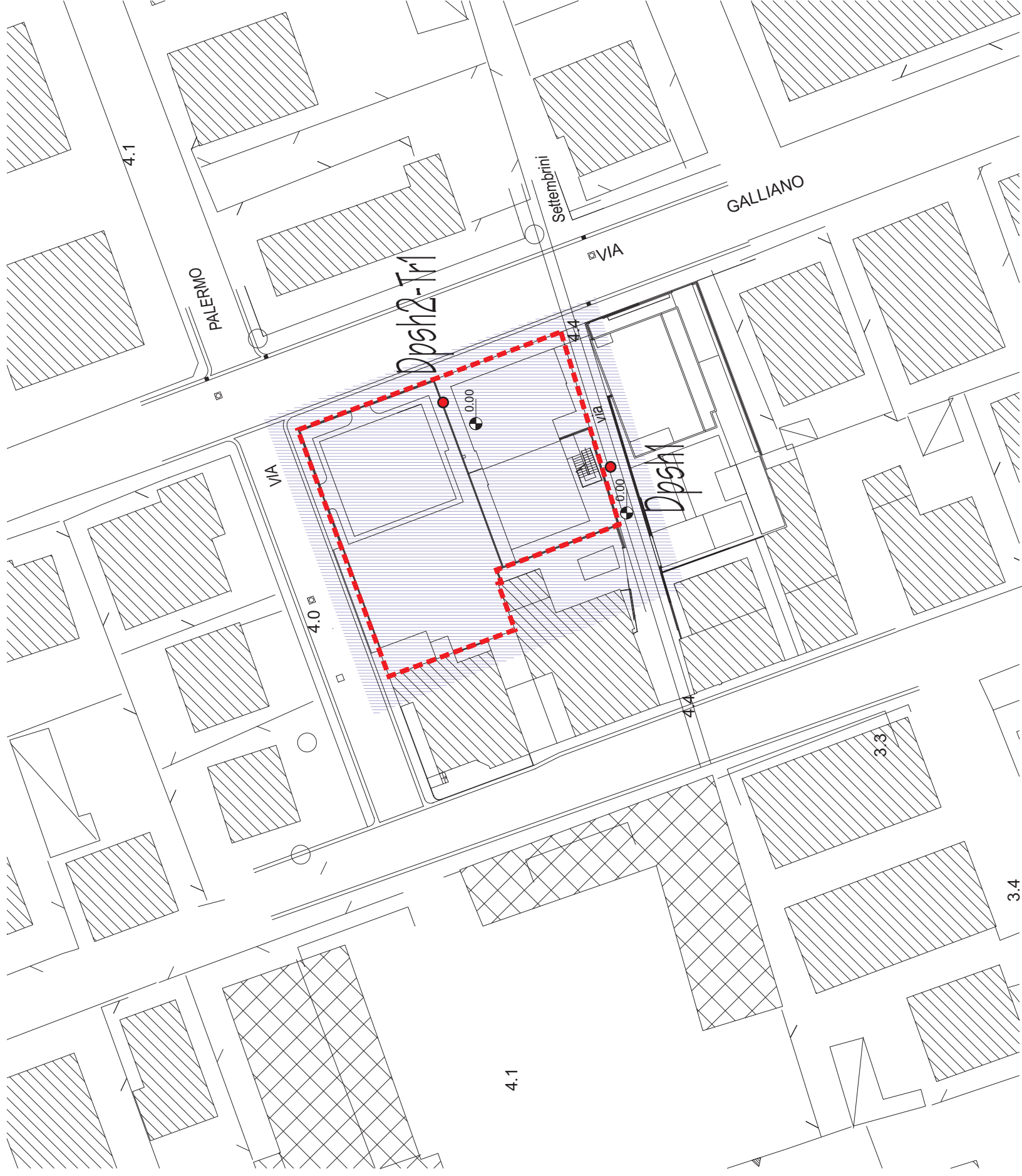
rapp. 1:500



TAV. 8

LEGENDA

	ingombro area in esame
	ubicazione prove penetr. dinamiche super-pesanti
	ubicazione indagini geofisica HVSR (Tromino)
	quote topografiche assolute
GRADO DI FATTIBILITA' GEOLOGICA	
	ALTO



4.1

3.4

3.3

GALLIANO

Settembrini

PALERMO

4.1

4.0

4.4

Dps1

Dps12-Tr1

0.00

0.00

VIA

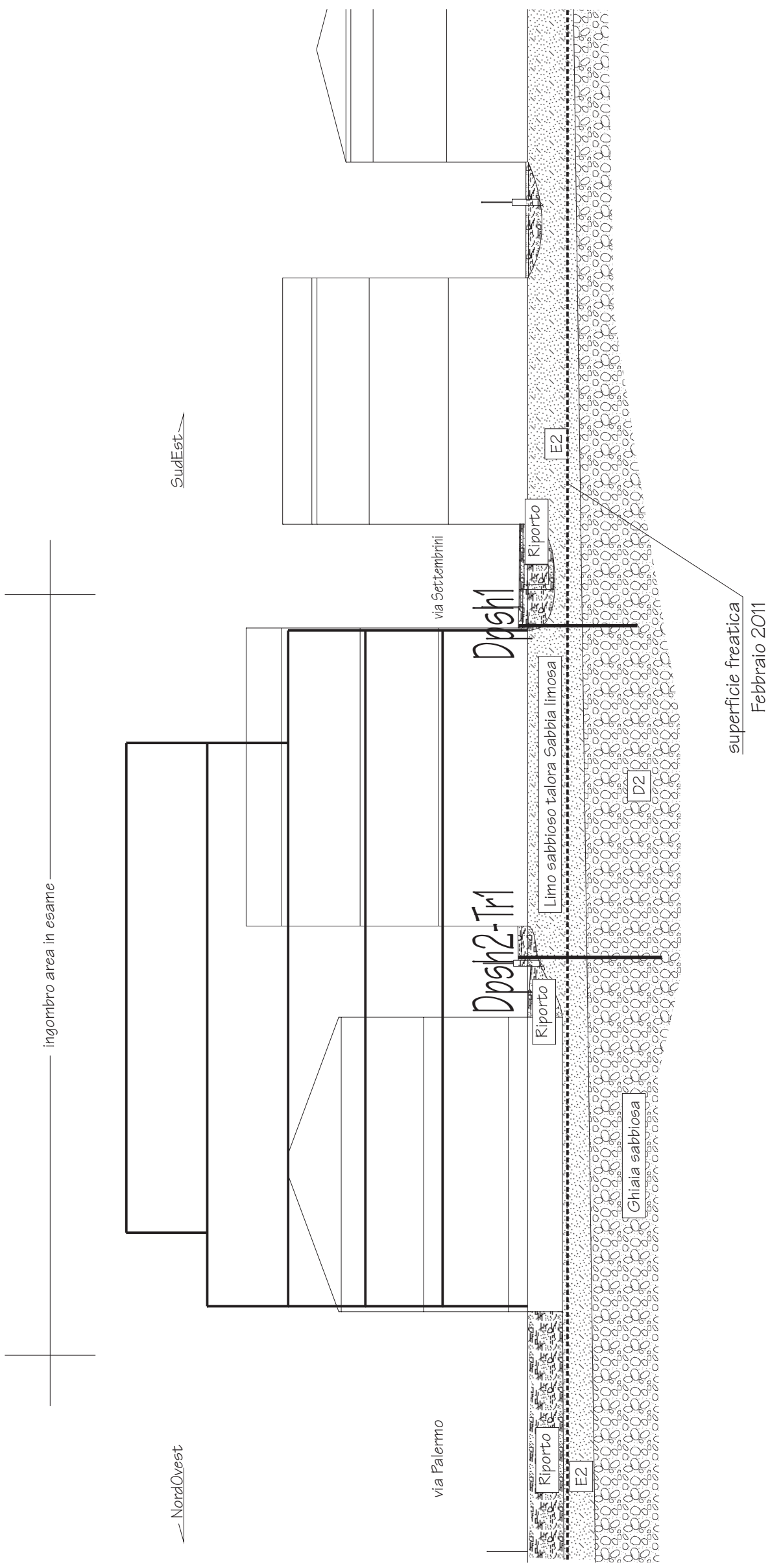
VIA

VIA

VIA

SEZIONE GEOLOGICO-LITOTECNICA

scala 1:200

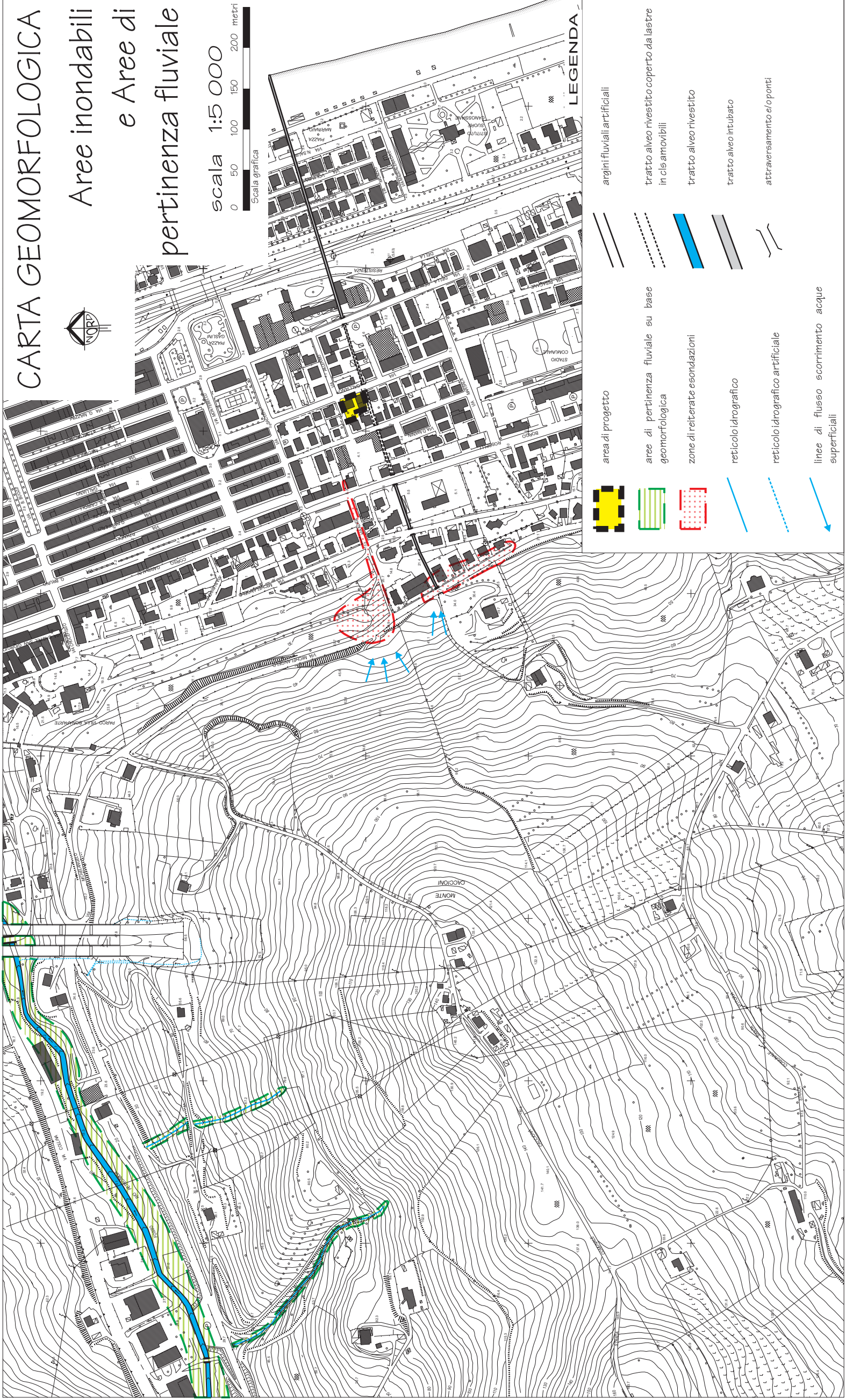




# CARTA GEOMORFOLOGICA

## Aree inondabili e Aree di pertinenza fluviale

scala 1:5 000



### LEGENDA

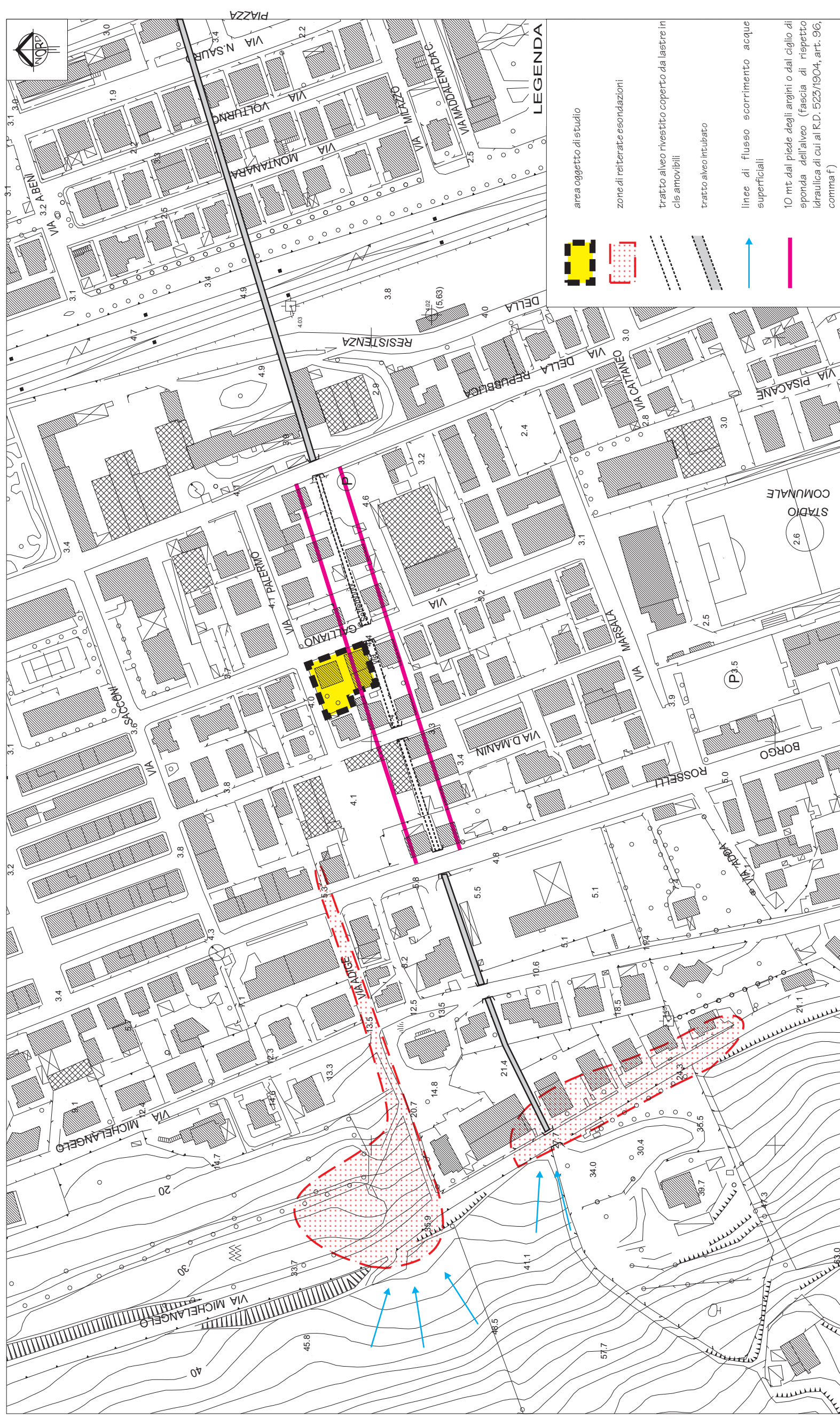
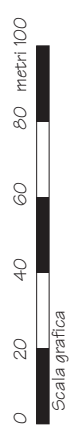
- area di progetto
- aree di pertinenza fluviale su base geomorfologica
- zone di reiterate esondazioni
- reticolo idrografico
- reticolo idrografico artificiale
- linee di flusso scorrimento acque superficiali
- argini fluviali artificiali
- tratto alveo rivestito coperto da lastre in cls amovibili
- tratto alveo rivestito
- tratto alveo intubato
- attraversamento e/oponti



# PLANIMETRIA

## Aree inondabili e Aree di pertinenza fluviale

scala 1:2000





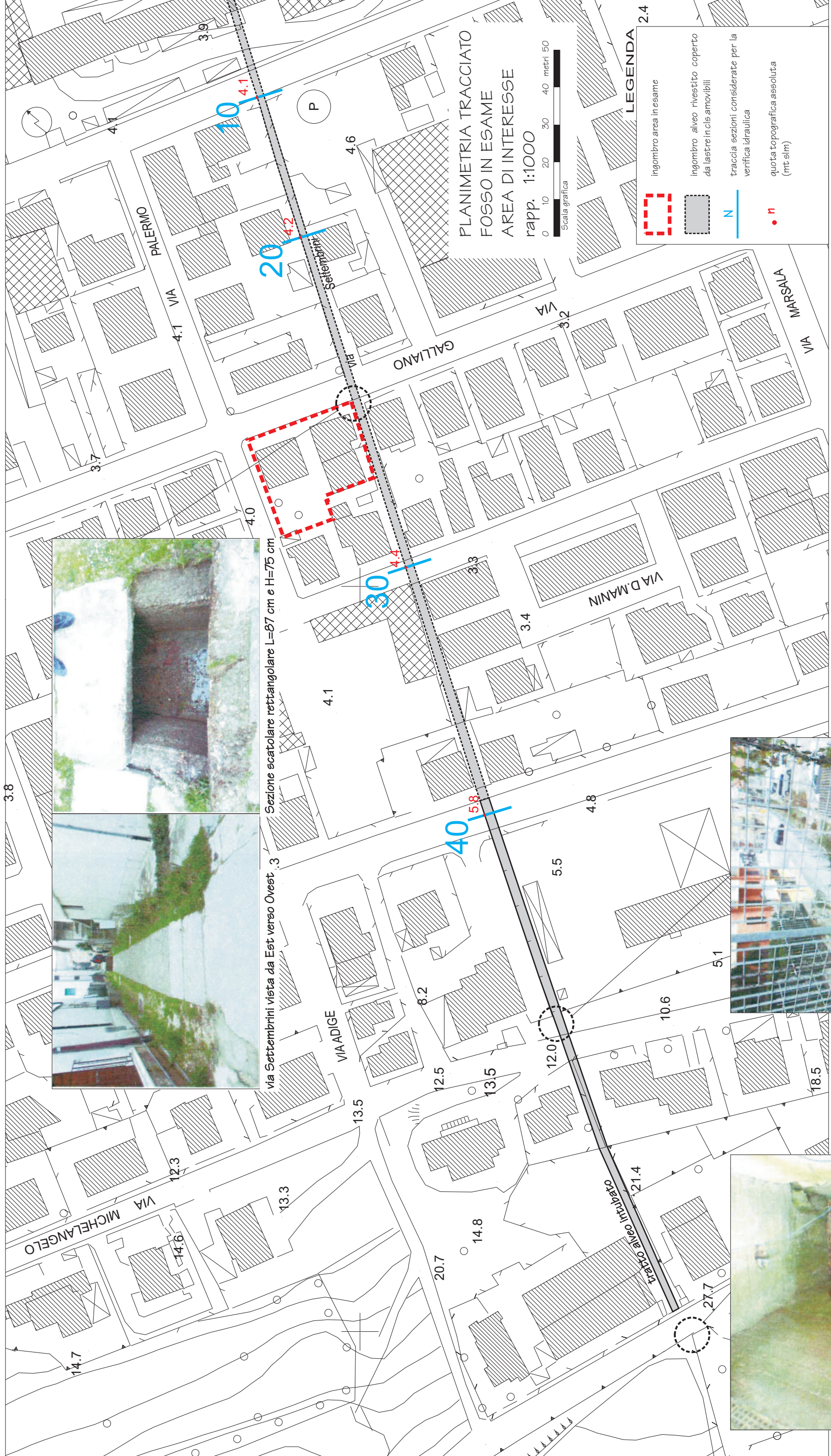
# BACINO IDROGRAFICO FOSSO IN ESAME



estratto ortofotogrammetria comune di Porto San Giorgio (FM)

SCALA 1:2 000

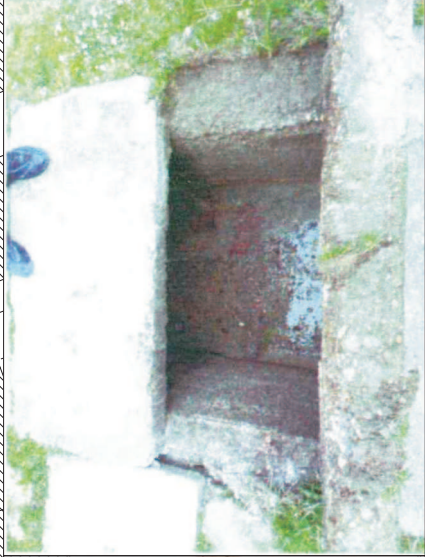




PLANIMETRIA TRACCIATO  
FOSSO IN ESAME  
AREA DI INTERESSE  
rapp. 1:1000

Scala grafica  
0 10 20 30 40 metri 50

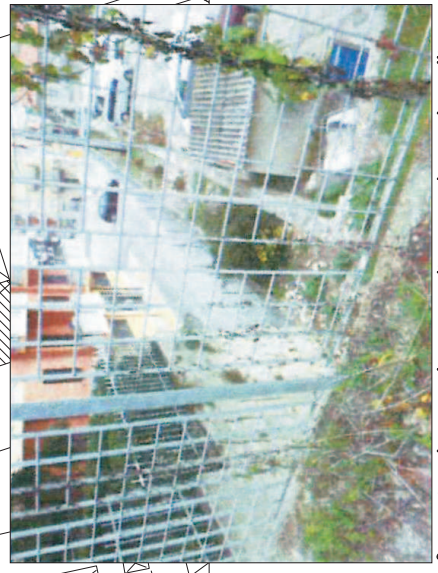
- LEGENDA**
- ingombro area in esame
  - ingombro alveo rivestito coperto da lastre in cls amovibili
  - traccia sezioni considerate per la verifica idraulica
  - quota topografica assoluta (rnt slm)



Sezione scatolare rettangolare L=87 cm e H=75 cm



via Settembrini vista da Est verso Ovest.



fosso intubato nel tratto di raccordo tra la collina e la piana litoranea



caditoia sezione tratto intubato forma circolare con  $\phi=100$  cm in prossimità di via M. Buonarroti







## INTRODUZIONE DATI PLUVIOMETRO

Totale osservazioni n. 55

## PRECIPITAZIONI BREVE ED INTENSE SUPERIORI ALL'ORA

"Località="	"quota m="					"Bacino="
ANNI	T=1 ORA	T=3 ORE	T=6 ORE	T=12 ORE	T=24 ORE	
1951	36.20	37.40	36.40	38.00	49.80	
1952	21.00	25.60	35.40	49.20	69.40	
1953	22.60	33.00	50.00	69.20	87.20	
1954	34.50	34.60	34.60	36.90	51.00	
1955	27.80	33.60	36.60	63.80	77.60	
1956	16.80	22.00	22.00	31.00	43.20	
1958	10.40	16.00	26.20	33.80	45.60	
1959	20.20	22.60	28.00	28.20	39.00	
1960	18.00	18.20	34.00	60.20	98.20	
1961	23.00	33.20	37.00	68.20	96.60	
1962	23.00	35.00	44.20	46.20	52.00	
1963	22.80	38.00	50.60	67.00	86.20	
1964	49.60	67.20	70.40	71.20	74.00	
1965	49.60	67.20	70.40	71.20	74.00	
1966	34.60	34.60	36.20	39.60	45.60	
1967	37.80	43.60	43.60	43.60	48.40	
1968	33.40	41.20	51.60	74.80	82.60	
1969	30.00	34.20	34.20	40.00	45.40	
1970	25.80	30.80	31.40	31.40	32.40	
1971	15.20	31.00	56.20	67.20	69.40	
1972	24.40	25.40	25.40	34.60	44.20	
1973	38.20	50.60	52.20	66.00	113.40	
1974	23.00	24.00	27.00	30.00	51.60	
1975	40.40	41.00	41.00	41.00	41.00	
1976	39.00	41.60	41.60	43.00	69.00	
1977	25.00	26.80	30.00	37.00	44.00	
1978	20.80	38.90	61.40	100.60	133.60	
1979	24.00	27.20	27.20	36.60	53.40	
1980	12.20	17.00	30.20	53.20	73.20	
1981	26.80	26.80	26.80	28.80	34.20	
1982	32.00	42.00	62.00	79.00	94.60	
1983	40.00	50.60	50.60	51.20	51.20	
1984	30.00	36.60	49.60	52.80	55.80	
1985	18.00	30.40	45.60	49.60	60.60	
1986	33.60	47.20	47.20	47.20	77.60	
1987	41.00	49.80	49.80	62.80	95.00	
1988	25.20	36.60	53.20	74.80	78.80	
1989	38.40	48.80	51.20	60.00	69.40	
1990	18.40	32.40	37.60	58.80	79.60	
1991	23.00	36.20	69.20	83.00	87.40	
1993	10.80	17.20	29.00	42.80	62.20	
1994	28.40	34.00	34.00	49.00	62.80	
1995	32.80	34.40	36.60	38.80	57.00	
1996	33.40	48.20	50.40	58.80	61.00	
1998	10.80	21.20	37.40	74.20	96.80	
1999	36.40	38.20	50.40	82.80	105.20	
2000	24.20	32.80	50.80	60.40	60.40	
2001	11.80	20.00	24.80	36.40	43.20	
2002	17.40	23.00	37.60	53.20	69.80	
2003	18.00	29.20	47.20	60.00	60.00	
2004	15.80	24.00	28.60	30.80	34.40	
2005	20.20	32.80	45.00	49.00	49.00	
2006	21.40	27.80	32.80	38.00	39.00	
2007	26.20	34.00	34.40	34.80	36.80	
2008	15.20	25.40	38.00	56.20	71.60	

## sezione 10



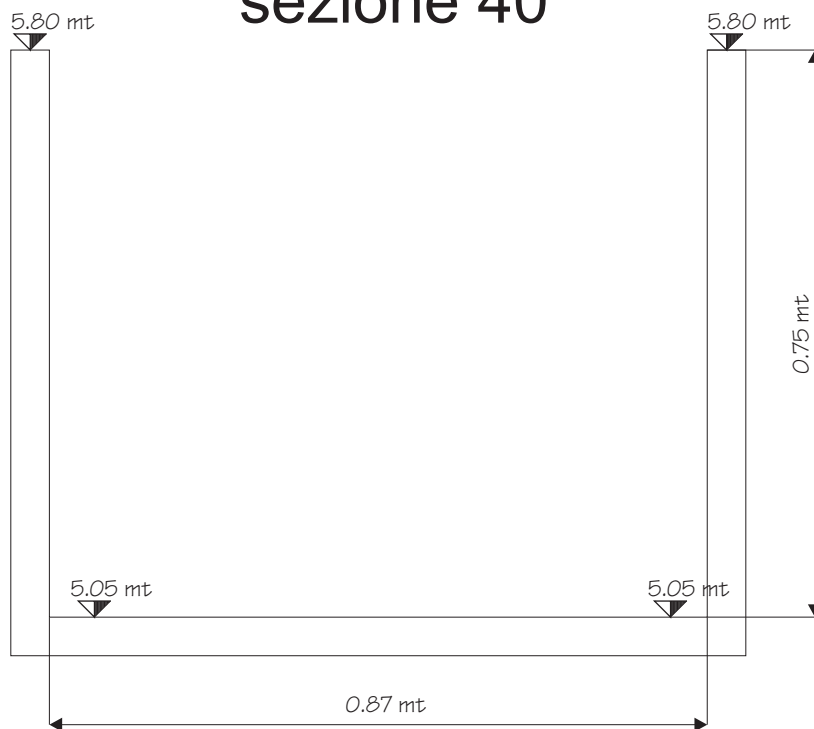
## sezione 20



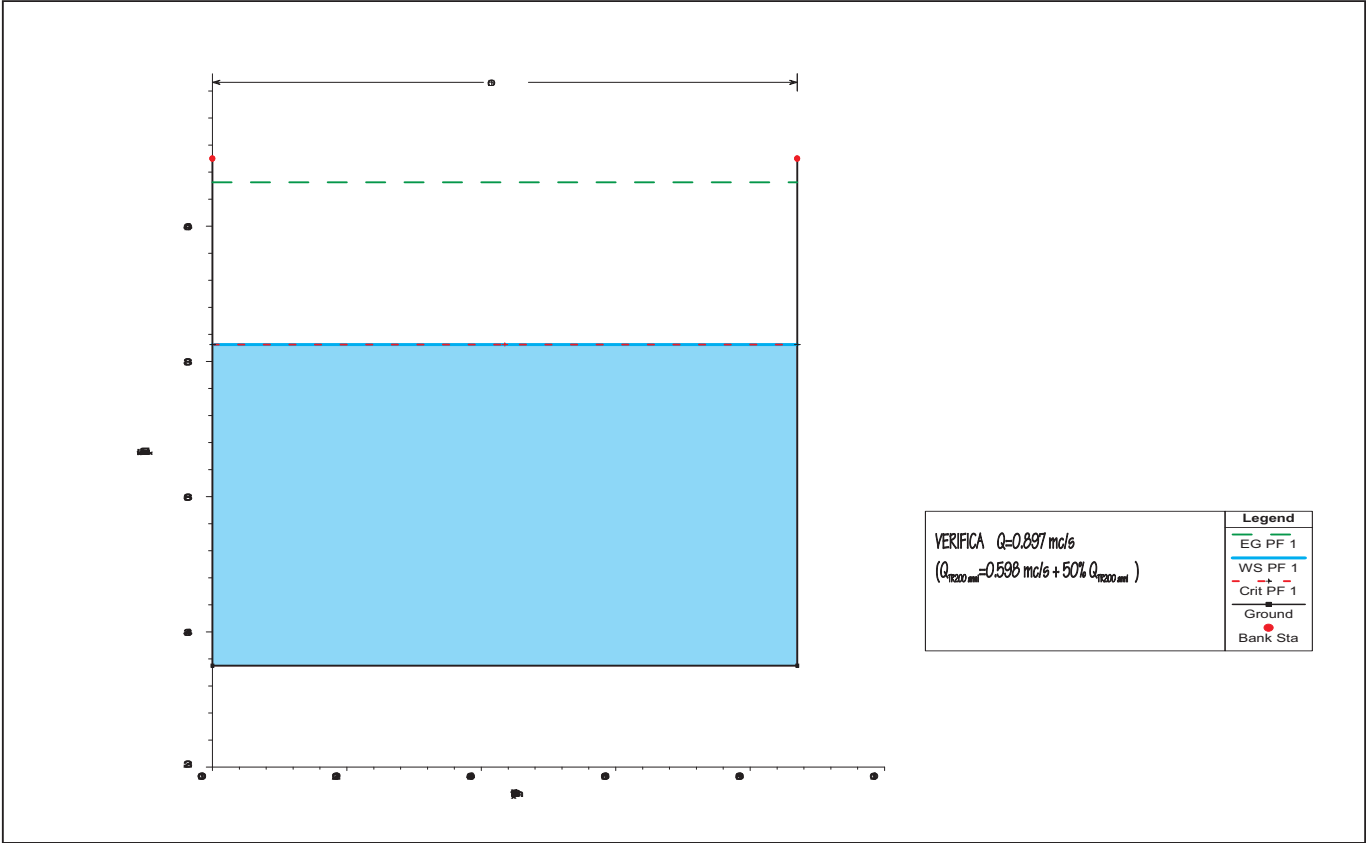
## sezione 30



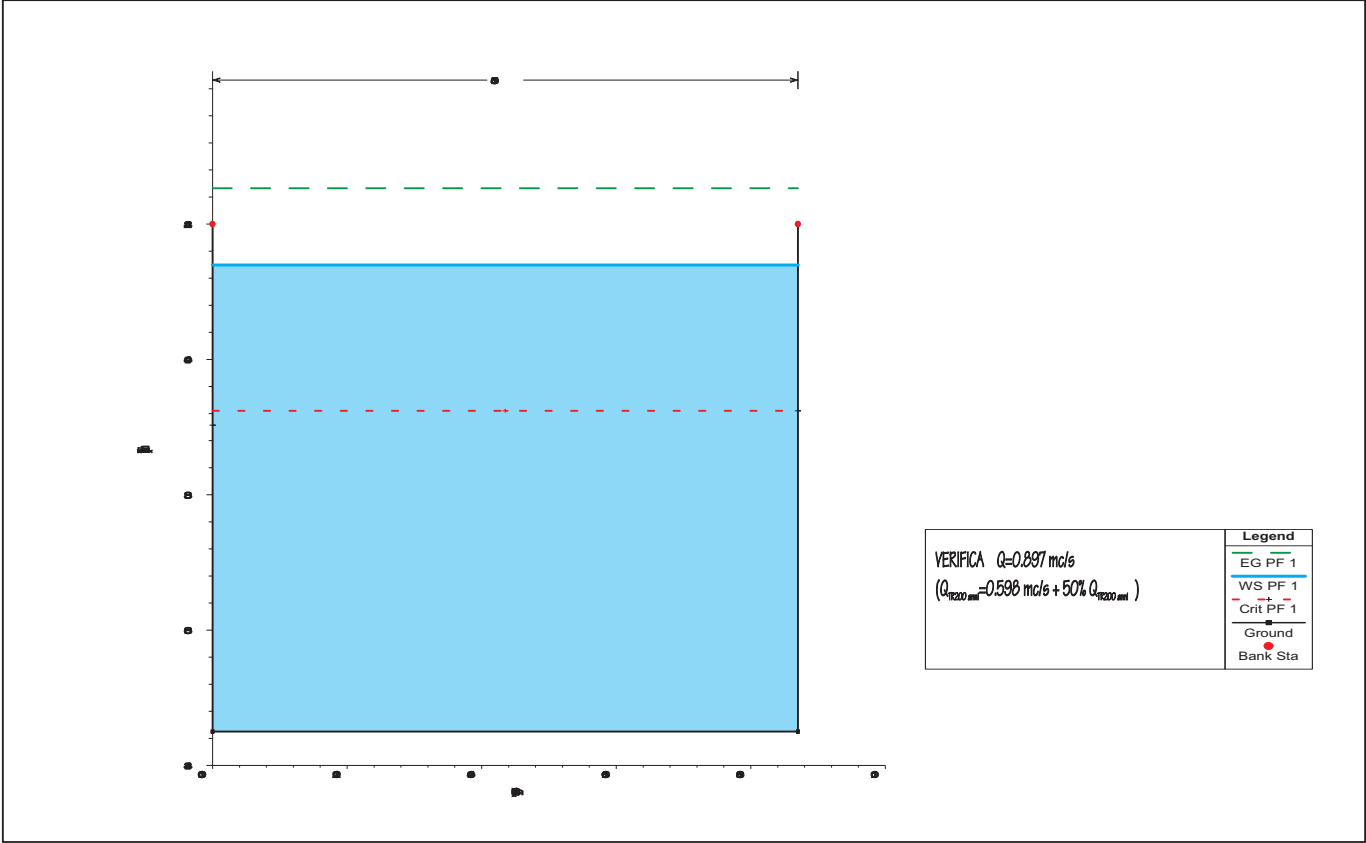
## sezione 40



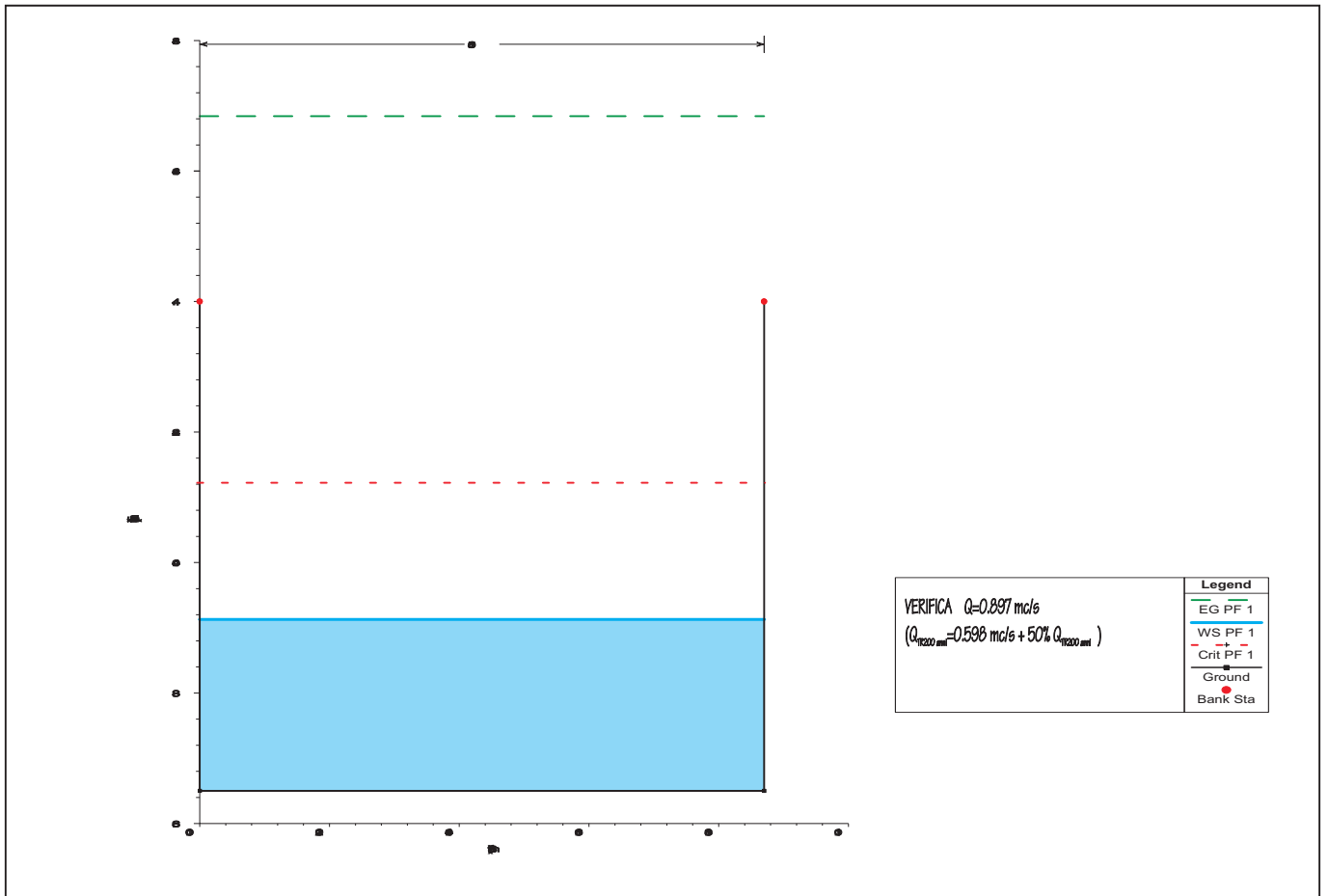
# SEZIONE 10



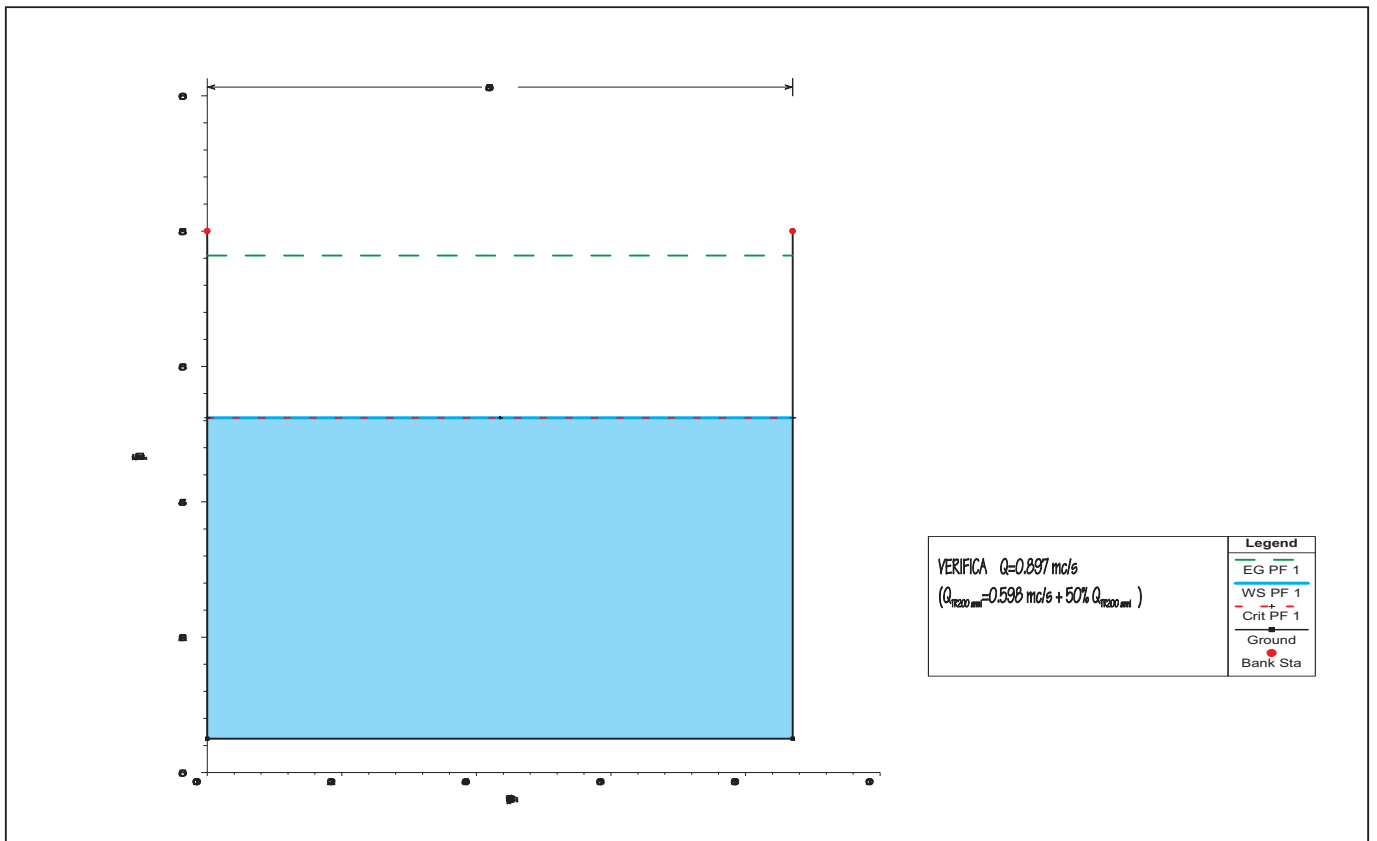
# SEZIONE 20



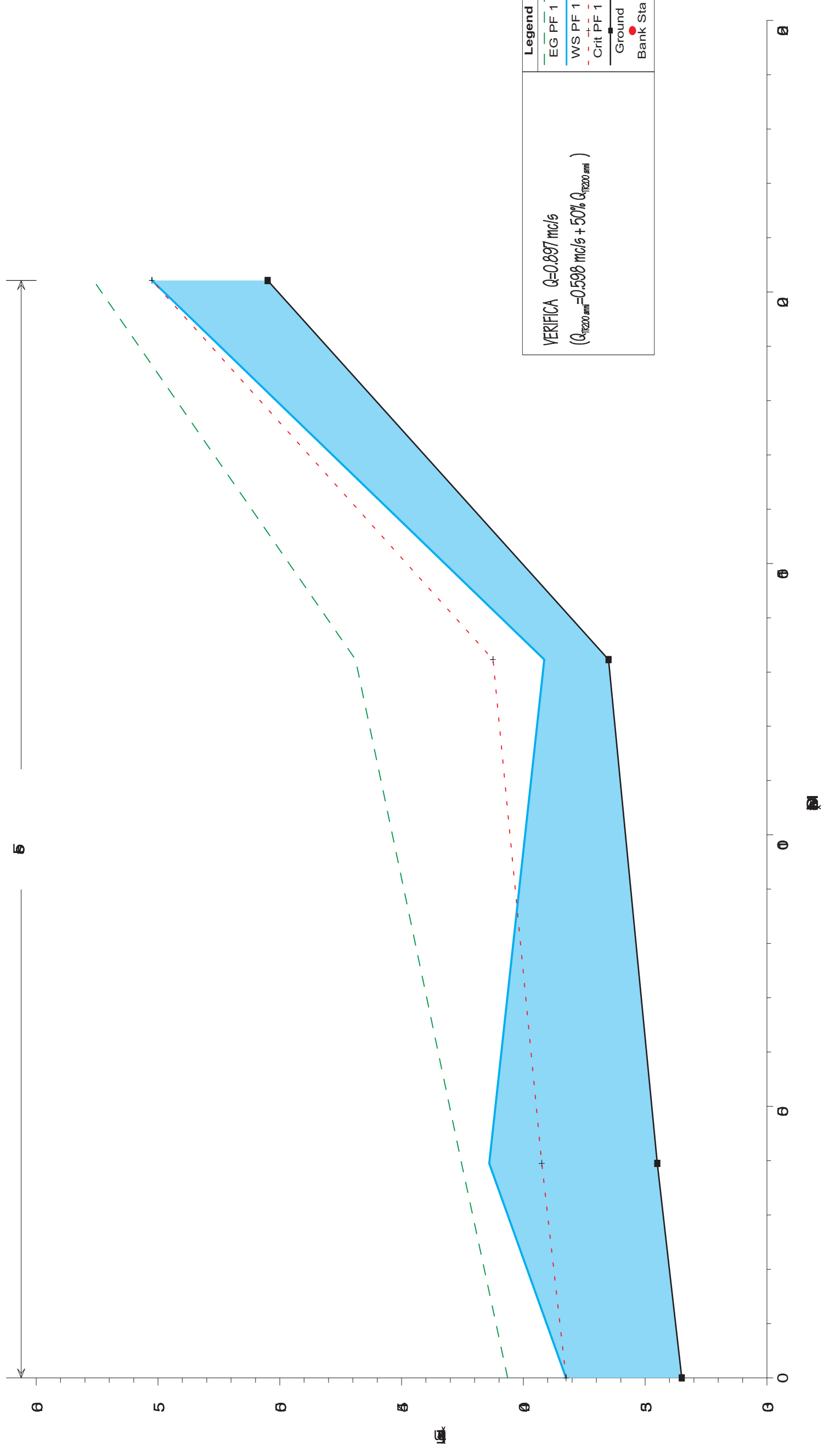
## SEZIONE 30



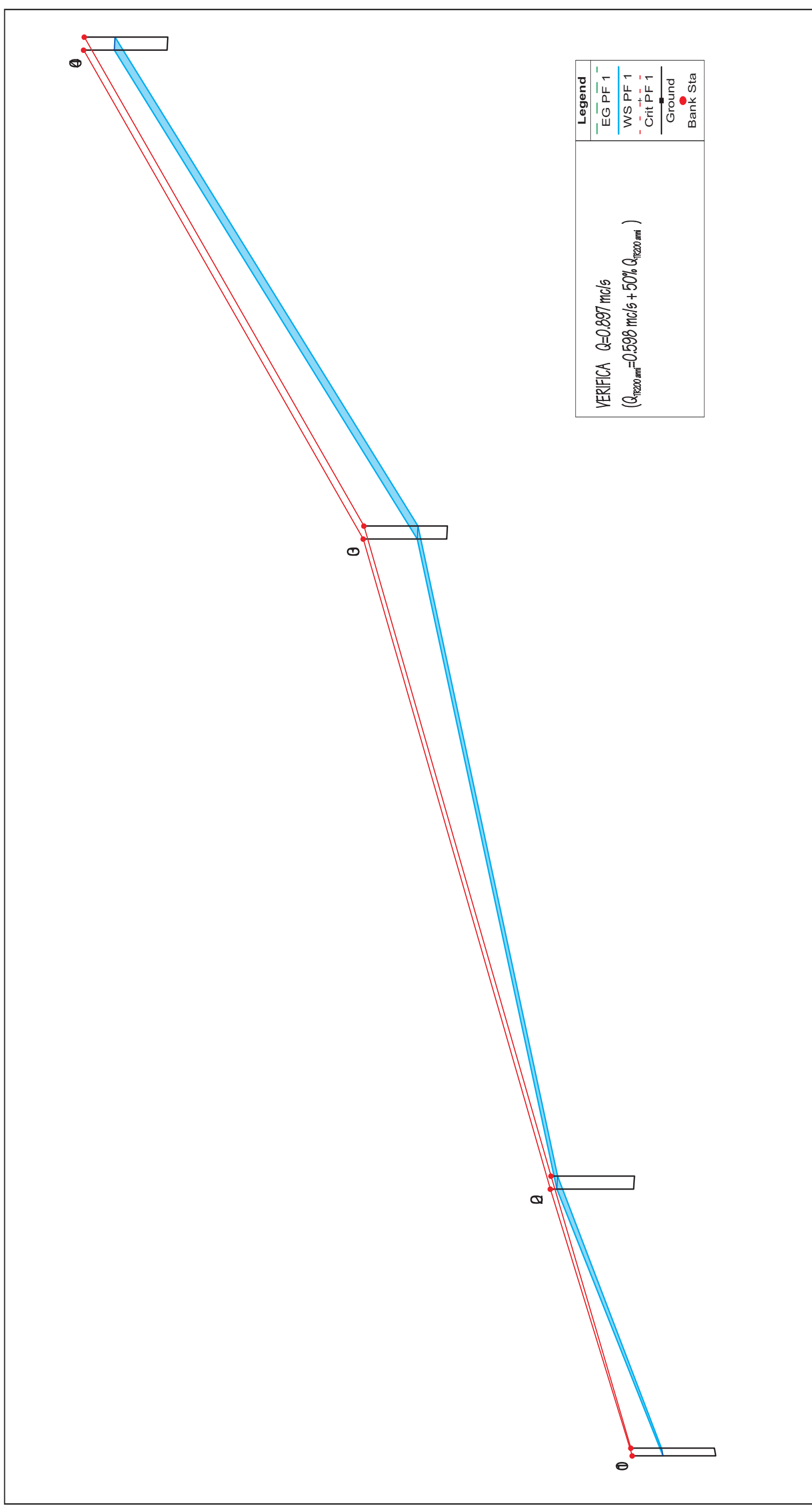
## SEZIONE 40



# PROFILO IDRAULICO TRATTO FINALE FOSSO IN ESAME



# PROFILO 3D TRATTO PRESO IN ESAME DEL FOSSO IN OGGETTO





<p>Dott. Massimo Basili  <b>GEOLOGO</b>  Via Fratte, 73  63821 PORTO SANTELPIDIO (FM)  tel.0734.992797 fax.0734.998677  e-mail: info@studiogeologiabasili.it  pec:basili.geologo@epap.sicurezzapostale.it</p>	<p>Oggetto:  <i>Indagine sismica a stazione singola</i></p> <p>Località: <i>via Galliano angolo via Settembrini e via Palermo, Porto San Giorgio (FM)</i></p> <p>Data esecuzione rilievo:  <i>10 Febbraio 2011</i></p> <p>Committente: <i>L.B. Immobiliare Italia s.r.l., Angelo e Maria Laura Brugnoni.</i></p>
---	--

## INDAGINE SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA

**Indagine di fattibilità geologica modellazione geotecnica, caratterizzazione sismica locale, verifica della compatibilità idraulica e considerazioni sulle misure volte al perseguimento di Invarianza Idraulica (L.R. 22/2011 art.10) per il progetto di un Piano di Recupero Urbano con demolizione, ricostruzione e parziale ristrutturazione di edifici con ampliamento ed accorpamento in un unico complesso edilizio da realizzare tra via Settembrini, via Galliano e via Palermo, nel comune di Porto San Giorgio (FM)".**

*Porto Sant'Elpidio, 30 Dicembre 2016*

*il geologo*  
**Dr. Massimo Basili**  
ORDINE DEI GEOLOGI DELLA REGIONE MARCHE  
geologo specialista  
numero. 277 albo sezione A (1999)



---

## INDICE

PREMESSA	pag. 1
STRUMENTAZIONE IMPIEGATA	pag. 3
TERRENI	pag. 3
Procedura di analisi dati per stazione singola H/V	pag. 3
Stazione Tr1	pag. 4
APPENDICE	pag. 9
Oggetto della misura: Il microtremore sismico ambientale	pag. 9
La tecnica impiegata: Cenni storici	pag. 10

### PREMESSA

Lo scopo di questa indagine è la caratterizzazione sismica del sottosuolo e, in particolare, l'individuazione delle discontinuità sismiche nonché la ricostruzione della profondità del locale sub-strato geologico (o meglio bedrock geofisico). Con tale metodo viene stimata la velocità di propagazione delle onde di taglio ( $V_{s30}$ ) come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 Gennaio 2008. L'indagine geofisica proposta si avvale della metodologia basata sulla tecnica di Nakamura e sul rapporto spettrale H/V. La tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque. I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

-la **frequenza caratteristica di risonanza del sito** che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale, in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare manufatti aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi in caso di sisma;

-la **frequenza fondamentale di risonanza di un edificio**, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In quanto risulterà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;

-la **velocità media delle onde di taglio Vs e Vs30** calcolata tramite un apposito codice di calcolo. E' necessario in questo caso, per l'affidabilità del risultato conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio geognostico ecc..) e riconoscibile nella curva H/V. E' possibile calcolare la Vs30 e la relativa categoria del suolo di fondazione come esplicitamente richiesto dal DM 14/01/08;

-la **stratigrafia del sottosuolo** con un range di indagine compreso tra 0.5 e 700 mt. di profondità, anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 mt. Il principio su cui si basa la presente tecnica, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

### **STRUMENTAZIONE IMPIEGATA**

Le misure di microtremore ambientale sono state eseguite per mezzo di un tromografo digitale portatile progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento (Tromino®, Micromed spa) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati secondo le direzioni NS, EW e verticalmente, ad alta definizione, alimentato a batterie, senza cavi esterni. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alle frequenze di campionamento di 128 Hz.

Sui terreni di sedime è stata condotta, in data *10 Febbraio 2011*, un'indagine geofisica attraverso l'acquisizione di n.1 registrazione a stazione singola, denominata Tr1 ubicata sul terreno di sedime (vedi Planimetria Tav3, allegata).

### **Procedura di analisi dati per stazioni singole H/V**

Dalla registrazione del rumore sismico ambientale in campo libero si ricava la curva H/V, secondo la procedura descritta in Castellaro et al. (2005), secondo i seguenti parametri:

- > larghezza delle finestre d'analisi 20 s,
- > lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari a 10% della frequenza centrale,
- > rimozione dei transetti sulla serie temporale degli H/V.

La curva H/V viene riprodotta creando una serie di modelli sintetici (*che contemplano la propagazione delle onde di Rayleigh e di Love nel modo fondamentale e superiori in sistemi multistrato*), fino a considerare per buono il modello teorico più vicino alle curve sperimentali. Tale operazione è

possibile esclusivamente in presenza di un vincolo che può essere la profondità, nota tramite prove dirette (prova penetrometrica eseguita in situ), di un riflettore sismico il cui marker sia riconoscibile nelle curve H/V (Castellaro e Mulargia, 2008) o la velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) del primo strato nota da altre indagini. Nel caso specifico si sono ottenuti i seguenti risultati:

### Stazione Tr1

In Figura 1 sono riprodotti gli spettri dei singoli canali N-S, E-W e componente verticale registrati sul lotto oggetto di studio.

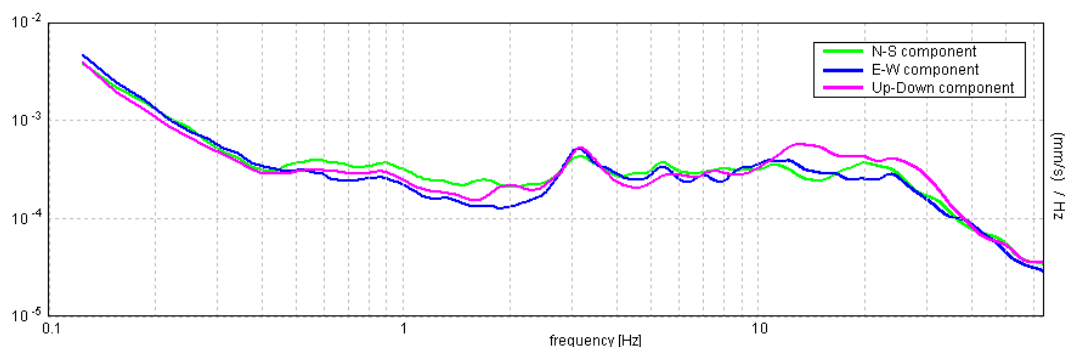


figura 1

In Figura 2 è riprodotta la curva H/V teorica derivante dal modello di sottosuolo di Figura 3, sovrapposta alla curva H/V sperimentale registrata nel sito in oggetto. Si osserva una buona congruenza tra le due curve.

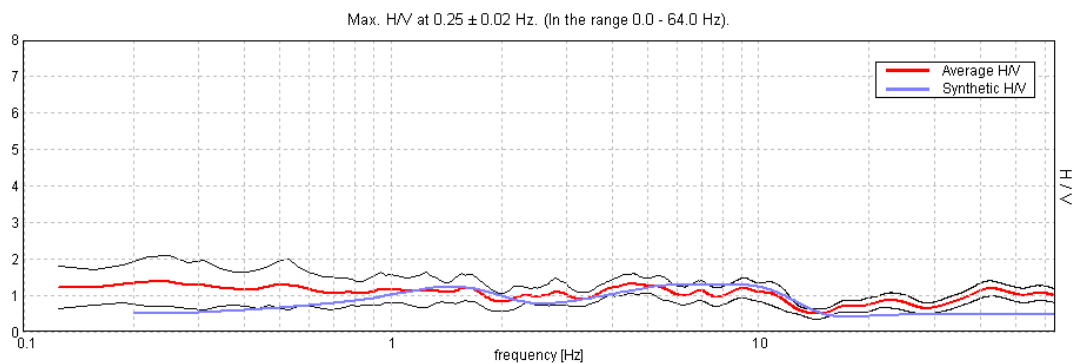


figura 2. Confronto tra la curva H/V sperimentale relativa al sito in oggetto (media in rosso e intervallo di confidenza al 95% in nero) e la curva H/V teorica ottenuta per il modello di sottosuolo di Tabella 1

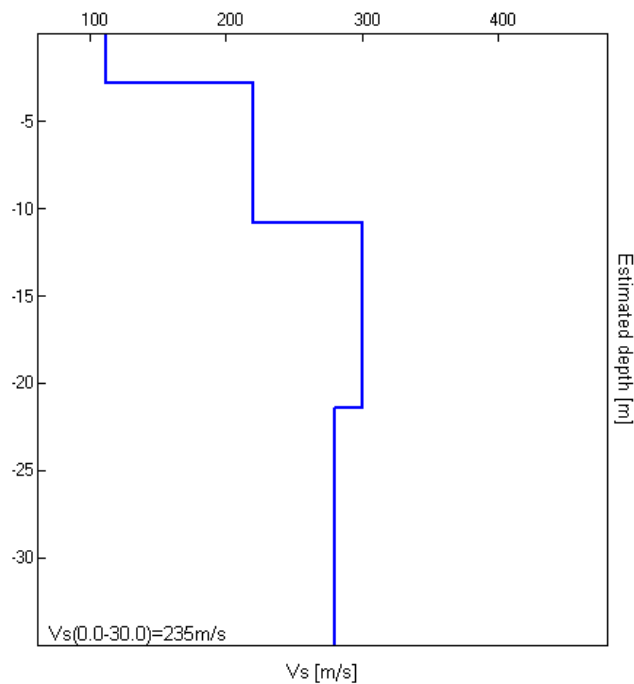


figura 3. Modello di velocità delle onde di taglio per il sito in oggetto.

Profondità	Spessore (m)	Vs (m/s)	Coefficiente di Poisson
2.80	2.80	112	0.35
10.80	8.00	220	0.25
21.40	10.60	300	0.25
44.40	23.00	280	0.45
inf.	0.00	430	0.45

tabella 1. Modello di sottosuolo per il sito in oggetto.

E' stato quindi possibile stimare la Vs30, tramite la formula:

$$\hat{V}_s = \frac{H}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{v_i}}$$

dove

$v_s$  = valore di velocità delle onde di taglio (m/s)

$H$  = profondità (m) alla quale si desidera stimare  $v_s$  (30 metri in caso di  $v_{s30}$ )

$h_i$  = spessore dello strato  $i$  - esimo (m)

la velocità delle onde  $V_s$  a 30 mt dal piano di fondazione, come esplicitamente richiesto dalle **Norme Tecniche per le Costruzioni**, D.M. 14/01/2008, nel caso specifico è stata calcolata a partire dall'attuale piano di campagna ottenendo:

$$V_s(0.0-30.0) = 235 \text{ m/s}$$

Nella tabella seguente, s'illustra la qualità del segnale acquisito in base al progetto Sesame (linee guida 2005). Per l'affidabilità della curva HVSR devono essere positivi i primi tre parametri, si osserva quindi che il picco a 24.03 Hz soddisfa i criteri a va pertanto assunto come frequenza fondamentale di risonanza del sito.

Max. H/V at 24.03 ± 7.72 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).			
Criteria for a reliable HVSR curve (tutti e tre dovrebbero essere verificati)			
<b>f0 &gt; 10 / Lw</b>	24.03 > 0.50	OK	
<b>nc(f0) &gt; 200</b>	14418.8 > 200	OK	
<b>sA(f) &lt; 2 for 0.5f0 &lt; f &lt; 2f0 if f0 &gt; 0.5Hz</b> <b>sA(f) &lt; 3 for 0.5f0 &lt; f &lt; 2f0 if f0 &lt; 0.5Hz</b>	Exceeded 0 out of 1154 times	OK	
Criteria for a clear HVSR peak (almeno 5 su sei dovrebbero essere verificati)			
<b>Exists f- in [f0/4, f0]   AH/V(f-) &lt; A0 / 2</b>	9.563 Hz	OK	
<b>Exists f+ in [f0, 4f0]   A_H/V(f+) &lt; A0 / 2</b>	-1.0 Hz		NO
<b>A0 &gt; 2</b>	1.87 > 2		NO
<b>fpeak[A_H/V(f) ± sA(f)] = f0 ± 5%</b>	0.15428  < 0.05		NO
<b>sf &lt; e(f0)</b>	3.70753 < 1.20156		NO
<b>sA(f0) &lt; q(f0)</b>	0.105 < 1.58	OK	

Nel caso specifico, quindi, per il frustolo di terreno in oggetto è stato determinato, attraverso l'esecuzione dell'indagine geofisica mediante tecnica dei rapporti spettrali o HVSR, un valore di  $V_{s30}$  di **235 m/sec**, pertanto alla luce dei risultati della sismica effettuata e tenendo conto anche delle risultanze delle prove geotecniche eseguite in situ, il suolo di fondazione in oggetto può essere assimilato, facendo riferimento alla normativa vigente (DM 14/01/08) ad una **"categoria di suolo di tipo "C"**, ovvero *depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento*



delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $Vs_{30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT_{30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < Cu_{30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina).

Nella valutazione della categoria di suolo e nell'approccio alla progettazione strutturale delle opere in questione, non vanno comunque trascurate le informazioni acquisite con l'indagine sismica circa la frequenza di risonanza del sito. Infatti nel caso specifico è stata individuata una **frequenza caratteristica di risonanza del terreno prossima a 9.0 Hz ed una leggermente più profonda a 4.5-5.0 Hz**, a significare che il terreno in questione amplifica le onde di superficie (ed in misura leggermente diversa quelle S) a quella frequenza rispetto all'imput su bedrock di riferimento. Ovviamente sarà cura del progettista, al fine di evitare pericolosi fenomeni di doppia risonanza in caso di sisma, progettare una/delle struttura/e con frequenze fondamentali di oscillazione lontane (superiori per un fattore di moltiplicazione di almeno 1.4, o meglio, minori) da quelle tipiche del terreno nel sito specifico di edificazione. E' da tenere presente che le frequenze dei modi di vibrare delle strutture dipendono principalmente dalla loro altezza. Per edifici standard in c.a. relazioni tipiche sono date in Figura 4 relativamente al primo modo di vibrare.

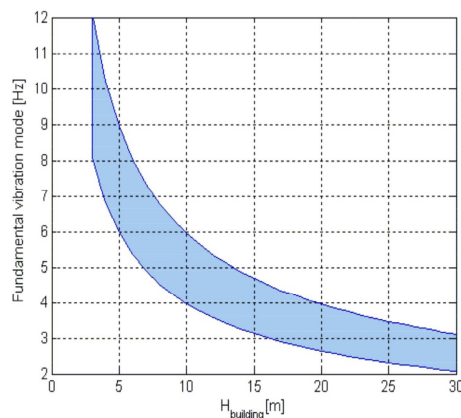


figura 4

Si osserva, in linea generale, che le frequenze superiori ai 10-12 Hz non interagiscono con i fabbricati civili e pertanto possono essere considerate, dal punto di vista ingegneristico come non significative. Al di sotto dei 10-12 Hz le frequenze fondamentali di risonanza del terreno, invece potrebbero cominciare ad interagire con quelle dei fabbricati in maniera inversamente

proporzionale all'altezza degli stessi; ossia all'aumentare dell'altezza degli edifici diminuisce il valore della frequenza di vibrazione fondamentale degli stessi.

*Porto Sant'Elpidio, 30 Dicembre 2016*

*il geologo*  
**Dr. Massimo Basili**  
ORDINE DEI GEOLOGI DELLA REGIONE MARCHE  
geologo specialista  
numero 277 albo sezione A (1969)



## APPENDICE

### TECNICHE DI INVERSIONE PER MISURE A STAZIONE SINGOLA

#### **Oggetto della misura: il microtremore sismico ambientale**

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato, oltre che dall'attività dinamica terrestre, dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo vicino. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva. Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale e in assenza di vento, lo spettro in frequenza del rumore di fondo in un terreno roccioso e pianeggiante presenta l'andamento illustrato in Figura 27. A tale andamento generale, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie o anche il semplice passeggiare di una persona) e naturali che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce.

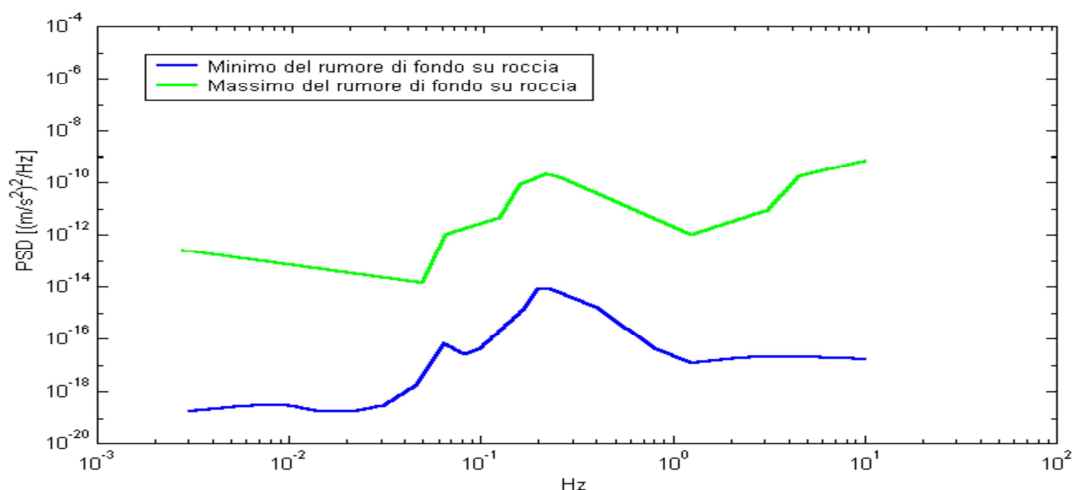


Figura 27. Modelli standard del rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra secondo il servizio geologico statunitense (USGS). Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del moto.

#### **La tecnica impiegata. Cenni storici.**

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico registrati in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è la tecnica dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), applicata da Nogoshi e Igarashi (1970).

Il metodo fu in seguito reso popolare principalmente da Nakamura (1989) come strumento per la determinazione dell'amplificazione sismica locale. Mentre su

questo punto non è ancora stato raggiunto consenso, è invece ampiamente riconosciuto che la curva H/V è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli e, tramite opportuna inversione, delle profondità dei substrati rocciosi sotto le coperture sedimentarie.

Studi recenti hanno dimostrato che ulteriori picchi a frequenza maggiori di quelle del bedrock sono riconducibili a contrasti di impedenza interni alla copertura sedimentaria e picchi a frequenze minori di quella del bedrock sono invece riconducibili a contrasti di impedenza interni al bedrock stesso. Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo H/V può essere usato come strumento stratigrafico.

Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente semplici in un sistema bistrato del tipo sedimenti + bedrock in cui i parametri variano solo con la profondità (1-D). In questi casi la profondità  $h$  della discontinuità sismica viene ricavata tramite la formula semplice della risonanza  $h = V / (4fr)$  o, al più, tramite la formula [1] in cui  $V_0$  è la velocità al tetto dello strato,  $x$  un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.) e  $fr$  la frequenza fondamentale di risonanza (cf. ad esempio Ibs-Von Seht e Wohlenberg, 1999).

$$h = \left[ \frac{V_0(1-x)}{4f_r} + 1 \right]^{\frac{1}{x-1}} - 1 \quad [1]$$

Nei sistemi multistrato, teoricamente l'effetto di risonanza è sommabile, ma non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1. Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando l'equazione [1]. L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V, che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per a) il contenuto in frequenza, b) la risposta strumentale e c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

L'inversione delle misure di tremore a fini stratigrafici, nei casi reali, sfrutta la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti H/V misurati con quelli 'sintetici', cioè con quelli calcolati relativamente ad un modello. L'interpretazione è tanto più soddisfacente, e il modello tanto più vicino alla realtà, quanto più i dati misurati e quelli sintetici sono vicini. I modelli sintetici di inversione impiegati in questo lavoro partono dalla modellizzazione del campo d'onde superficiali (onde di Rayleigh e Love) in sistemi multistrato (Aki, 1964; Ben-Menahem e Singh, 1981). L'inversione delle curve H/V per ottenere un profilo di Vs è possibile a patto di disporre di un punto di taratura (es. penetrometria o sondaggio) che fornisca la profondità di un riflettore - anche molto superficiale - riconoscibile nella curva H/V oppure a patto di conoscere la Vs del primo strato a partire da tecniche indipendenti (Castellaro e Mulargia, 2008).





foto 1: esecuzione prova penetrometrica dinamica super-pesante Dpsh2



foto 2: esecuzione prova penetrometrica dinamica super-pesante Dpsh1



foto 3-4: Sabbie talora sature riscontrate sulle aste penetrometriche dopo l'esecuzione delle prove in situ



foto 5: esecuzione rilievo sismico passivo con tecnica HSRV e registrazione mediante tromografo digitale



foto 6: edificio in oggetto, vista da via Galliano