

"Indagine di fattibilità geologica, modellazione geotecnica, microzonazione sismica locale, verifica della *compatibilità idraulica* (L.R. 22/2011 art.10) per il progetto di Variante parziale al PRG di un'area da "Agricola" a "Zona per attività tecniche, amministrative e rapporti con il pubblico di aziende che erogano servizi di interesse generale", sita in Località Brancadoro, nel comune di Sant'Elpidio a Mare (FM)".

Committente: *ditta TENNACOLA spa*

INDICE

1.1	PREMESSA E METODOLOGIA DI ANALISI.....	pag. 2
1.2	CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE.....	pag. 5
1.3	CARATTERISTICHE LITOTECNICHE E GEOMECCANICHE	pag. 6
1.4	CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE	pag. 10
1.5	VERIFICA DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	pag. 11
1.6	INVARIANZA IDRAULICA	pag. 13
1.7	CARATTERISTICHE SISMICHE DELLE AREE.....	pag. 13
1.8	VOCAZIONALITA' EDIFICATORIA DELLE AREE	pag. 18
1.9	CONCLUSIONI.....	pag. 18

La presente relazione è composta da n° 19 pagine e dai seguenti allegati:

ALLEGATI

TAV.A	COROGRAFIA	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.2	PLANIMETRIA	scala 1:2000
N.° 2	PROVE PENETROMETRICHE STATICHE	
N.° 2	STRATIGRAFIE reperite	
TAV.RI53a	STRALCIO Cartografia PAI Regione Marche	
TAV.3	CARTA IDROGEOLOGICA	scala 1:5000
TAV.4	CARTA LITOLOGICO-TECNICA	scala 1:2000
TAV.5	CARTA CLIVOMETRICA	scala 1:2000
TAV.6	CARTA DELLE PERICOLOSITA' GEOLOGICHE	scala 1:2000
TAV.7	CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	scala 1:2000
TAV.8	CARTA MICROZONAZIONE SISMICA (N.T.C. D.M. 17 Gennaio 2018)	scala 1:2000
TAV.9	CARTA DELLA VOCAZIONALITA' EDIFICATORIA	scala 1:2000
TAV.10	SEZIONE GEOLOGICA e LITOLOGICO-TECNICA	scala 1:800
TAV.11	PLANIMETRIA aree inondabili e fasce di pertinenza fluviale	scala 1:5 000

APPENDICE:

N.° 5 **RISULTANZE INDAGINE SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA MEDIANTE TECNICA DEI RAPPORTI SPETTRALI HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)**

ALLEGATI FUORI TESTO:

-ASSEVERAZIONE SULL' INVARIANZA IDRAULICA DELLA TRASFORMAZIONE TERRITORIALE
-COPIA DOCUMENTO DI IDENTITA'

1.1 PREMESSA E METODOLOGIA D'ANALISI DELL'AREA

Su richiesta della ditta *TENNACOLA spa* è stata espletata una indagine di fattibilità geologica, modellazione geotecnica, microzonazione sismica locale e verifica della *compatibilità idraulica* e (L.R. 22/2011 art.10) per il progetto di Variante parziale al PRG di un'area da "Agricola" a "Zona per attività tecniche, amministrative e rapporti con il pubblico di aziende che erogano servizi di interesse generale", sita in Località *Brancadoro*, nel comune di Sant'Elpidio a Mare (FM)" e finalizzata al trasferimento e realizzazione della nuova sede direzionale della Tennacola.

Tale indagine è stata eseguita in stretta ottemperanza con quanto previsto dal D.M. 11.03.88, Legge 8.08.85 n.431, Legge Regionale 8.06.87 n.26 e dalla Legge 2.02.74 n.64, Legge 1150/42, Legge Regionale 34/92, Legge Regionale 16.08.2001 n.19-adempimenti art.2, comma 3 e successive, delibera Provincia di Ascoli Piceno *Decreto del P.G.R. n. 118 del 27/06/2001 (PTC) Art.10 (Elaborati degli strumenti urbanistici generali comunali)*, Circ. Regione Marche n.14-15 del 1990 e della Del. n.1287/97 e il Piano Regolatore Generale del comune di Sant'Elpidio a Mare, che costituiscono la normativa tecnica esistente. Essa ha lo scopo di verificare la compatibilità, rispetto alla situazione geologica e geomorfologica locale, delle opere previste dalla variante urbanistica, ed è stata estesa alla porzione di sottosuolo ritenuta significativa ai fini del progetto. 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.

Per l’espletamento dell’incarico ricevuto, si è ritenuto utile estendere lo studio per un intorno ritenuto significativo dell’area oggetto di studio, al fine di risalire alle caratteristiche morfologiche, 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... Inoltre si è eseguita 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, consultazioni di verifiche idrauliche eseguite nell’area oggetto di variante ecc..*) e facendo inoltre riferimento alle testimonianze orali raccolte sul posto.

Al fine di risalire alle caratteristiche litologiche dei terreni presenti nel sottosuolo, nonché all’assetto lito-stratigrafico della zona, sono state eseguite in data 22 Aprile 2010, di n.° 2 prove penetrometriche statiche continue (Cpt) con strumento di tipo "Pagani TG63-100 EML.", unitamente alle risultanze dei numerosi studi eseguiti dallo scrivente nelle immediate vicinanze (*Tod’s, Renzi Group, Koks, Botticelli, Cappelletti, ecc....*), hanno fornito sufficienti dati per la caratterizzazione geologica, idrogeologica e geomeccanica dei litotipi presenti nell’area di indagine. Inoltre sono stati reperiti ed allegati alla presente relazione n.2 sondaggi geognostici eseguiti dalla Dr.ssa Marcolini all’interno di un lotto adiacente alla zona di variante urbanistica (ditta Softer).

Infine è stata realizzata un’indagine geofisica mediante tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*), eseguendo n.5 acquisizioni di sismica passiva mediante un tromografo digitale di tipo

"Tromino Zero" all'interno del lotto in oggetto, al fine di definire le frequenze di risonanza fondamentali del sito e determinare, inoltre, le " V_{sequ} " dei terreni presenti, secondo quanto prescritto dalle direttive dell'OPCM 3274/03 e del DM 17.01.18.

La metodologia adottata può essere così schematizzata:

- studio dati esistenti;
- rilevamento geologico di campagna;
- rilevamento geomorfologico di campagna;
- valutazione delle caratteristiche litologico-tecniche dei litotipi;
- esecuzione n°2 prove penetrometriche statiche;
- esecuzione n°5 acquisizioni di sismica passiva elaborate mediante tecnica dei rapporti spettrali o HVST;
- determinazione delle caratteristiche geomeccaniche e sismiche;
- valutazione delle caratteristiche idrauliche dei corsi d'acqua presenti;
- valutazioni e considerazioni sulla compatibilità idraulica del sito;
- valutazione della vocazionalità edificatoria;
- stesura della presente relazione generale esplicativa;

La base cartografica utilizzata per le indagini e la stesura degli elaborati è la Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000 della Regione Marche e la Ortofotogrammetria del comune di Sant'Elpidio a Mare alla scala 1:5.000. 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"
- Circolare Regionale Marche n.14 e 15 del 28 Agosto 1990
- Delibera Regione Marche n. 1287 del 1997
- 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) aggiornato al 2016;
- D.M. 14 Gennaio 2008 "Norme tecniche per le costruzioni";
- D.M. 17 Gennaio 2018 "Norme tecniche per le costruzioni";
- Norme Tecniche di Attuazione del PRG del comune di Porto Sant'Elpidio;
- Legge Regionale Marche n.22 art. 10, comma 4.

1.2 CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE

L'area in esame (vedi Corografia Tav.1) è posta nella porzione Occidentale del territorio comunale di Sant'Elpidio a Mare, ad una distanza di circa 2.0 km in direzione Sud, dalla frazione di Montecosaro Scalo e 2.5 km, in direzione Nord, dall'aggregato urbano di Casette D'Ete.

Morfologicamente l'area in esame ricade in destra idrografica della pianura alluvionale del Fiume Chienti; essa presenta una superficie pressoché sub-pianeggiante posta ad una quota topografica compresa tra 29 e 30 metri sopra il livello medio del mare e dista circa 250 mt dall'alveo del fiume Chienti, il quale scorre confinato all'interno di un sistema di arginatura con un andamento piuttosto meandriforme prima di assumere, poco a valle del tratto in esame, un tracciato pressoché rettilineo sino alla foce lontana circa 6.0 km.

Dalle risultanze del rilevamento di campagna, unitamente all'osservazione delle ortofotocarte, è emersa la presenza di numerose scarpatine fluviali di altezza alquanto modesta (1-2 metri) dalla tipica forma a "ferro di cavallo" lungo le quali spesso sono impostati dei canali artificiali (vallati) le cui acque vengono utilizzate attualmente per scopi irrigui. Simili forme morfologiche testimoniano come il corso d'acqua, in un recente passato, abbia assunto tracciati differenti, sempre a meandri, prima di conformarsi, in seguito alle ingenti opere di bonifica che hanno interessato l'intera asta fluviale a partire dai primi anni '20 e '30, secondo l'odierno andamento.

In particolare l'area in questione presenta una morfologia pressoché sub-pianeggiante, talora leggermente digradante verso Est con una pendenza compresa tra 0-10% (vedi Carta Clivometrica, Tav. 5) e una inclinazione media di 0.5 e 1.0°. Pertanto dal punto di vista topografico il lotto in oggetto così come l'intera area circostante possono essere classificati secondo il *D.M. 17 Gennaio 2018*, come **Categoria T1** (*superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$*).

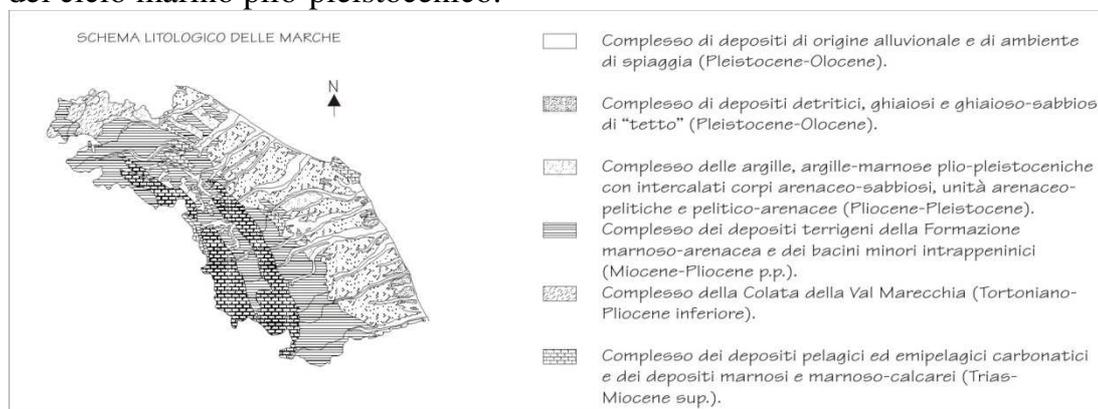
Vista la morfologia pianeggiante, si può chiaramente **ritenere morfologicamente stabile l'area in oggetto**, mentre considerando la differenza di quota tra l'area di variante urbanistica in esame e l'alveo del fiume Chienti (4-5 mt.), unitamente alla presenza di un continuo sistema di arginatura, nonostante la distanza minima dal fiume, fanno ritenere piuttosto remoto il rischio di alluvionamenti dell'area. A conferma di ciò, è stato redatto 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 chiaramente, come **la zona in esame non risulta attualmente compresa tra le aree a rischio di esondazione e aree a rischio di frana (vedi Stralcio Tavola RI 53ad PAI).**

Mentre per quanto riguarda il rischio di esondazione da parte dei corsi d'acqua minori, peraltro nell'area non presenti, si rimanda a quanto verrà trattato nel successivo prf. 5 relativo alla verifica di compatibilità idraulica del sito.

1.3 CARATTERISTICHE LITOTECNICHE E GEOMECCANICHE

Nella regione marchigiana è presente al di sopra di in basamento ercinico una successione sedimentaria e marina pressochè 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 statiche eseguite, i sondaggi geognostici reperiti ed allegati in appendice, unitamente ai numerosi studi geologici effettuati nell'area dallo scrivente, hanno permesso sia l'individuazione che la caratterizzazione dei litotipi presenti, oltre alla ricostruzione della loro sequenza stratigrafica locale. Da ciò è emersa la presenza di sedimenti fini di genesi alluvionale-palustre talora interdigitati con terreni derivanti dal disfacimento dei termini della successione plio-pleistocenica. Alla base dei litotipi suddetti, è presente un materasso alluvionale grossolano, costituito da ghiaia immersa in una abbondante matrice sabbiosa, depositato durante le numerose fasi di aggradazione del fiume Chienti verificatesi anche in epoche relativamente recenti. Infine, al di sotto del materasso alluvionale, si riscontrano invece i terreni della successione marina del Plio-Pleistocene, costituiti da un'alternanza stratificata di argille leggermente marnose e sottili livelli sabbiosi, riscontrate nell'area a partire da una profondità di 22-25 mt dall'attuale piano campagna.

Per l'intera area di variante urbanistica è stata operata una suddivisione tra i vari litotipi presenti nell'immediato sottosuolo, da cui è nata la carta litologico-tecnica allegata in appendice (vedi Tav.5). 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, unitamente al reperimento di precedenti studi effettuati nelle zone più prossime ad essa (vedi stratigrafie allegate), che hanno permesso di risalire alle caratteristiche granulometriche dei litotipi presenti e alle proprietà tecniche delle singole unità stratigrafiche. Dalla carta litotecnica si evince come sull'intera area di variante urbanistica siano presenti le unità continentali appartenenti alla "copertura" di genesi palustre e alluvionale composte da "*sedimenti a grana medio fine*" (E1 - sabbie limose-limi argillosi sabbiosi) 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 lito-stratigrafica:

-Sedimenti a grana medio-fine

-E2: unità composta da sedimenti sabbioso-limosi e limoso-argilloso-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. Contatto intergranulare piuttosto continuo (clast-supported). Medio-alta la densità relativa del materiale caratterizzato da qualità geotecniche buone, talora ottime, rinvenuto al di sotto dell'attuale superficie piezometrica.

-PARAMETRIZZAZIONE DELLE UNITA' LITO-TECNICHE

Alcune caratteristiche geotecniche dei terreni che costituiscono le singole unità-litotecniche individuate e descritte in precedenza, sono state esaminate in situ, sulle carote di terreno estratte durante le terebrazioni eseguiti nelle immediate vicinanze, con l'ausilio del penetrometro e dello scissometro tascabili i quali hanno fornito indicazioni, rispettivamente, della resistenza a compressione semplice ELL e della coesione non drenata dei terreni coerenti. Altri parametri geomeccanici delle unità litologico-tecniche mediante le prove penetrometriche statiche continue (CPT) sono stati ottenuti dalla elaborazione e correlazione dei dati sperimentali secondo le interpretazioni di Sanglerat, Terzaghi, D'Appollonia ed altri recenti autori. Da quanto suddetto le caratteristiche geomeccaniche di ogni singola unità litotecnica, possono essere così riassunte:

Parametri	Unità di Misura	Unità "copertura"	Unità "copertura"
		"E2"	"D2"
		Limo argilloso sabbioso talora Sabbia limosa	Ghiaia limosa sabbiosa
γ	(g/cm ³)	1.90 (2.1sat)	1.85 (2.1sat)
γ_k		1.90	1.85
C_u	(kg/cm ²)	0.7-1.8	-
C_{u_k}		0.9	-
C'	(Kg/cm ²)	0.0-0.1	-
C'_k		0.04	-
ϕ'	(gradi)	22-24° (24-31°)	29>34°
ϕ'_k		22° (26°)	33°
E_d	(Kg/cm ²)	55-93	-
E_s	(Kg/cm ²)	(94-389)	274>400

() parametri geotecnici della frazione sabbiosa presente intercalata all'interno dell'unità litotecnica E2

La simbologia usata è la seguente:

γ = peso di volume del terreno;
 C_u = coesione non drenata;
 C' = coesione drenata;
 ϕ' = angolo di attrito drenato;
 E_d = modulo edometrico;
 E_s = 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 Φ	10%
Coesione	40%
Modulo di comprimibilità	40%

1.4 CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

La ricostruzione del quadro idrogeologico dell'area è avvenuto attraverso delle misure freaticometriche eseguite su alcuni pozzi esistenti ritenuti significativi tra tutti quelli presenti nell'area più prossima alla zona investigata, inoltre si è fatto riferimento alle numerose manifestazioni idriche riscontrate durante l'esecuzione dei sondaggi e delle prove in situ realizzate. La misura puntuale e dettagliata dei diversi livelli freaticometrici riscontrati all'interno di ogni singolo pozzo, 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 piezometriche (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 di media profondità di natura freatica intestata all'interno dei depositi alluvionali e delimitata inferiormente dal locale sub-strato geologico (aquiclude) costituito dalle argille Plio-Pleistoceniche riscontrabili nell'area a partire da una profondità di 22-25 mt. dal p.c. (vedi *risultanze studio geofisico e stratigrafie allegate in appendice*). Dallo studio è emerso che il tetto della falda è posto, rispetto all'attuale piano campagna, ad una profondità compresa tra 7.60 mt (Pozzo 3) e 5.40 mt. (Pozzo 5), ad una quota topografica assoluta compresa tra 25.50 mt e 23.50 mt rispetto al livello medio del mare. Le curve isofreatiche rappresentanti il tetto dell'acquifero tendono a disporsi a formare un andamento sinusoidale con asse di drenaggio diretto principalmente secondo la direzione E-W e SW-NE. Questo andamento potrebbe essere imputabile alla presenza di un paleo alveo e/o canale sepolto, rappresentante una linea preferenziale di deflusso delle acque sotterranee. Il gradiente idraulico medio della falda nell'area in esame può essere stimato intorno a 2.8×10^{-3} . Verosimilmente la principale fonte di ricarica dell'acquifero di subalveo rinvenuto nell'area è dovuta all'infiltrazione delle acque correnti superficiali, anche se l'andamento delle curve isofreatiche unitamente alle risultanze degli studi effettuati nell'area (*Corvatta & Leoperdi, 1994*) attestano una zona di alimentazione della falda acquifera da parte del fiume Chienti. Infine un'altra fonte di ricarica dell'acquifero è fornita dall'infiltrazione efficace delle acque meteoriche che né condizionano presumibilmente anche il

regime. Dagli studi effettuati nell'area è emerso che i minimi valori freaticometrici si registrano nei mesi autunnali, i massimi in quelli primaverili, e che la falda sembra risentire delle precipitazioni con un ritardo di circa 15 giorni/un mese.

Produttività e Vulnerabilità dell'Acquifero

Alla luce della granulometria e quindi la permeabilità variabile (da bassa dei limi a medio-alta delle sabbie) dei sedimenti posti a copertura dell'acquifero e considerando il medio spessore degli stessi (circa 6-7 metri), fanno ipotizzare la **vulnerabilità del locale acquifero come di medio-alta entità**.

1.5 VERIFICA DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA

Oltre alle considerazioni espresse nel paragrafo precedente (1.2) circa il rischio di alluvionamento dell'area oggetto di studio da parte del mare, è stata espletata una verifica di compatibilità idraulica ai sensi della legge regionale n.22/2011 condotta 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 è stato condotto adottando un ***livello di verifica di tipo semplificato (II livello)***, ossia basato su considerazioni di tipo idrografico-bibliografico e storico implementata da valutazioni ed analisi geomorfologiche e topografiche, considerate ampiamente esaustive alla luce dell'ubicazione dell'area progetto in questione, ricadente in una zona, a memoria d'uomo, mai interessata da fenomeni di alluvionamento.

La ricerca storica eseguita, basata principalmente sulle informazioni orali raccolte in situ e sul reperimento di cartografie attuali e storiche e soprattutto della Carta IGM Foglio n.125 della Carta d'Italia (*rilievo 1950 allegata in appendice*) dove si evince chiaramente che nell'area in esame e in un intorno significativo della stessa non esistono corsi d'acqua naturali oltre al fiume

Chienti che possano creare rischi di esondazione a seguito di eventi meteorici eccezionali e/o per effetto della possibile divagazione e/o migrazione dell'asse di drenaggio degli stessi, anche in un'ottica di lungo periodo. Mentre il *Fiume Chienti* pur scorrendo ad una distanza piuttosto ridotta (100-150 mt.) risulta impostato ad una quota di garanzia dal sito in questione (5.0-6.0 mt).

Nella Carta Geomorfologica Aree inondabili e Aree di pertinenza fluviale sono state evidenziate su base geomorfologica e sulla base dei vincoli PAI le aree di pertinenza fluviale del *Fiume Chienti*, in funzione dell'ubicazione dell'area oggetto di studio (*vedi Tav. 10 allegata in appendice*), mentre non sono stati riportati vincoli di pianificazione territoriale, relativi alle fasce di rispetto dei corsi d'acqua in quanto contenuti nelle carte tematiche specifiche. Dalla lettura della carta si evince chiaramente come l'area in esame risulti esente da qualsiasi rischio idraulico da parte del fiume Ete Chienti, vista la distanza e la differenza di quota esistente (5.0-6.0 mt) tra tale elemento e il lotto in oggetto. Da notare inoltre le quote topografiche esistenti, dove si nota chiaramente come l'area di variante sia posta ad una quota topografica compresa tra 29 e 30 mt. slm, mentre le aree circostanti risultano impostate ad quote minori e comprese tra 25 e 29 mt. slm., pertanto alla luce di tale considerazione risulta evidente come in caso di esondazione del fiume Chienti, nel tratto in oggetto, le acque tenderanno a defluire verso le aree di minor quota topografica, come chiaramente rappresentato dalla cartografia PAI (*vedi Tav. 10 allegata in appendice*).

Pertanto, alla luce di tali considerazioni si esprime parere favorevole circa la compatibilità idraulica dell'area oggetto di Variante Parziale al PRG in esame, la quale, a seguito della verifica di tipo preliminare/semplificata eseguita, risulta non interessata dalla pericolosità idraulica del territorio, legata all'assetto-evoluzione dei corsi d'acqua e ai potenziali fenomeni di esondazione che si propagano dagli stessi, inoltre si esclude, per effetto dell'urbanizzazione, qualsiasi tipo di alterazione del regime idraulico sulle aree contermini, indotta dalle scelte urbanistiche, dato che verranno modificate le quote dell'attuale piano di campagna in condizioni di post-operam, ma con il solo scopo di livellare l'area progetto con l'adiacente zona urbanizzata esistente (zona industriale), quindi senza generare modifiche delle linee di deflusso delle acque dilavanti, per le aree contermini, costituita tra l'altro da un'area praticamente pianeggiante.

1.6 INVARIANZA IDRAULICA

Per quanto riguarda *l'invarianza idraulica* del sito, dato che attualmente non sono state definite da parte dei progettisti del piano urbanistico la distribuzione esatta delle aree a diversa vocazione e la natura delle superfici delle varie zone (edificato, zone impermeabilizzate, zone permeabili, 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.

1.7 CARATTERISTICHE SISMICHE 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 Sant'Elpidio a Mare all'interno del quale ricade l'area di Variante Urbanistica era inserito fra quelli a *rischio sismico basso* (livello C). Successivamente, l'aggiornamento della classificazione sismica nazionale, stabilita con Ordinanza del Presidente

del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, recepita dalla Regione Marche con la Delibera della Giunta Regionale n. 1046 del 29.07.2003 ed aggiornata con DGR 136/2004, distingue il comune di Sant'Elpidio a Mare in Zona Sismica 2 (*Zona con pericolosità sismica media dove possono verificarsi forti terremoti*). Quindi dopo l'approvazione delle NTC08-NTC18 per la definizione della pericolosità sismica di base ci si ispira ad una filosofia differente basata sui risultati di uno specifico studio dell'INGV (*Meletti e Montaldo 2007*), in cui non si fa più riferimento al perimetro di un singolo territorio comunale, bensì ad un reticolo di riferimento costituito da 10751 nodi georeferenziati distribuiti su tutto il territorio nazionale distanti tra di loro non più di 10 chilometri, in cui vengono definiti i singoli valori di accelerazione orizzontale di picco (a_g e/o PGA). Pertanto il valore della pericolosità sismica di base, oggi scaturisce dall'interpolazione lineare fra i valori di (a_g) dei nodi prossimi all'area di studio, qualora la stessa non ricada in coincidenza di uno dei nodi stessi. Infine il comune di Sant'Elpidio a Mare risulta dotato di uno studio di Microzonazione Sismica di I livello, dove l'area in questione viene definita come *zona stabile suscettibile di amplificazione sismica* (MOPS3), mentre risulta in corso di esecuzione lo studio di Microzonazione di III livello.

Nella circolare 15/90 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.

1.7a 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 e di risposta sismica locale. Nella realtà il moto generato da un sisma, in un determinato sito, dipende anche dalle particolari condizioni locali e cioè: conformazione morfologica (superficiale e sepolta), assetto stratigrafico dei terreni e degli ammassi rocciosi e relative proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono, caratteristiche idrogeologiche, presenze di cavità ecc... Tutti questi elementi contribuiscono a determinare modifiche alla propagazione di un segnale sismico (risposta sismica locale) potendo generare nell'area di nostro interesse amplificazioni del moto del suolo e/o ulteriori elementi di pericolosità come liquefazione dei terreni sabbiosi saturi, compattazione dei terreni granulari non saturi, fenomeni di instabilità dei pendii, sia rapidi (crolli e colate) sia lenti (scivolamenti e deformazioni) e subsidenza.

Tenendo conto di tali aspetti, nella **Carta della pericolosità sismica locale**, redatta per il lotto oggetto di Variante Urbanistica (vedi Tav.7), è stata individuata e classificata una zona a risposta sismica omogenea (microzonazione), con relativo 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 di variante urbanistica. Essa infatti risulta caratterizzata da una morfologia sub-pianeggiata, da uno spessore discreto di sedimenti alluvionali-palustri mediamente consistenti, per cui non sono state riscontrate condizioni geologico-geomorfologiche né geotecniche da correlare al rischio di liquefazione dei terreni, visto che la locale falda acquifera risulta presente a circa 6.00 mt dall'attuale piano campagna, particolarmente penalizzanti e/o in grado di aumentare in maniera sostanziale la pericolosità sismica locale. Per tale area si escludono in linea generale condizioni in qualche modo penalizzanti e/o in grado di aumentare in maniera evidente la pericolosità

sismica locale dato che sono da scartare fenomeni di deformazione permanente del terreno indotti o innescati dal sisma, quali instabilità morfologica, liquefazione e/o fagliazione superficiale, mentre risultano comunque possibili amplificazioni causate dalle caratteristiche litostratigrafiche dei terreni data la presenza di una copertura di genesi alluvionale poggiate su di un substrato Plio-Pleistocenico (*contrasto di impedenza meccanica*), con rischi di doppia risonanza terreno-strutture, nel caso di edifici progettati con frequenze fondamentali di oscillazione prossime a quelle del terreno.

1.7 b Microzonazione sismica

(*Norme Tecniche per le Costruzioni*, D.M. 17/01/2018)

Coordinate lotto WGS84: Lat. 43.272638°N Long. 13.658298°E ED50: Lat. 43.273587°N Long. 13.659218°E
--

Per la definizione dell'azione sismica di progetto di un sito si deve valutare l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, tramite studi specifici di risposta sismica locale (*C7.11.3.1 del DM 17.01.2018 Adeguamento Norme tecniche delle costruzioni*). In assenza di tali analisi si può fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II e 3.2.III) e sulle condizioni topografiche, valutando:

- la categoria di suolo di fondazione mediante la stima del parametro $V_{s,eq}$ e di conseguenza la valutazione dell'incremento sull'azione sismica;
- il coefficiente di amplificazione topografica.

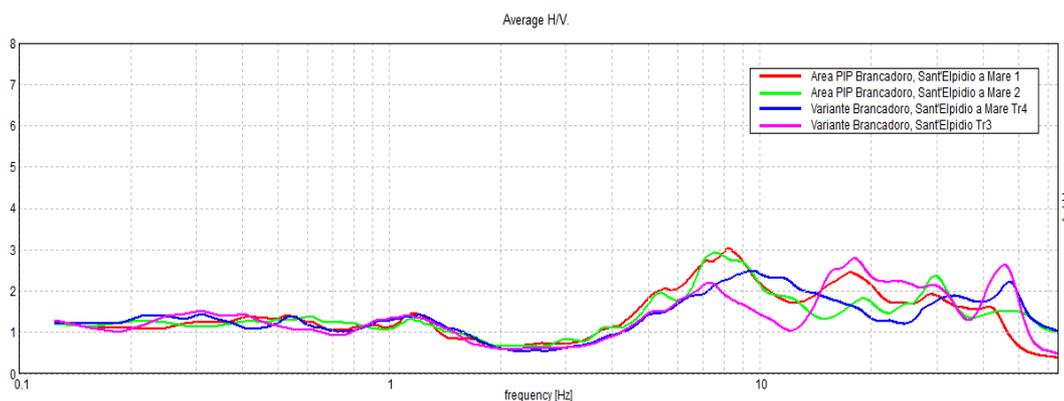
Per il sito di studio, non avendo in questa fase condotto studi specifici volti alla determinazione della risposta sismica locale, mediante l'approccio semplificato, sono stati ottenuti i seguenti risultati:

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 di progetto è stata condotta, in data 22 Aprile 2010 e 05 Dicembre 2018, un'indagine geofisica attraverso l'acquisizione di n.5

registrazioni a stazione singola di microtremore ambientale mediante tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (*Nakamura*), denominate Tr1, Tr2, Tr3, Tr4 e Tr5, al fine di determinare la velocità di propagazione delle onde di taglio ($V_{s_{equ}}$) come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 17 Gennaio 2018. Dallo studio è stato determinato (*vedi studio geofisico allegato in appendice*), un valore di $V_{s_{equ}}$ **compresi tra 319 e 340 m/sec**, pertanto alla luce dei risultati della sismica effettuata, nel caso il progettista delle future opere edili da realizzare all'interno del piano urbanistico volesse adottare la procedura semplificata, il suolo di fondazione in oggetto può essere assimilato, facendo riferimento alla normativa vigente (DM 17/01/18) ad una **"categoria di suolo di tipo "C"**, *ovvero depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*

Nella valutazione della categoria di suolo e nell'approccio alla progettazione strutturale delle future opere comprese all'interno del piano urbanistico, non vanno comunque trascurate le informazioni acquisite con l'indagine sismica circa la frequenza di risonanza del sito. Infatti nel caso specifico sono state individuate delle frequenze di risonanza, escludendo quelle maggiori di 10 Hz, ingegneristicamente non significative, **comprese tra 6 e 9 Hz comune a tutte le verticali associate a frequenze comprese tra 1.0 e 1.5 Hz**, come si può notare dalla successiva *figura 4*, a significare che il terreno in questione amplifica le onde di superficie (ed in misura leggermente diversa quelle S) a quella frequenza rispetto all'input su bedrock di riferimento



Confronto tra la curva H/V sperimentale relativa al sito in oggetto delle sette stazioni Tr1 (rosso), Tr2 (verde), Tr3 (fucsia) e Tr4 (blu)

1.8 VOCAZIONALITA' EDIFICATORIA DELL'AREA

La carta della Vocazionalità Edificatoria dell'area (vedi elaborato grafico allegato in appendice, Tav.9) redatta per l'intera area PIP in esame, estesa in un intorno significativo, rappresenta a tutti gli effetti il documento di sintesi dello studio eseguito, in quanto riassume le informazioni sulle caratteristiche litologo-tecniche, sulla risposta sismica locale, nonché sul grado di rischio. In particolare, in rapporto alle condizioni geologiche, geomorfologiche, geotecniche dell'area, vista soprattutto la risposta sismica unitaria che caratterizza il comparto urbanistico, è stato attribuito un grado *Alto* di vocazionalità edificatoria per l'intera area in esame. Quindi la zonazione effettuata, può essere così riassunta:

GRADO ALTO: Contraddistingue l'intera area di progetto la quale, contrassegnata da un *basso grado di pericolosità sismica locale rispetto al livello-base*, presenta una morfologia pianeggiante e risulta caratterizzata da sedimenti medio-fini appartenenti alla copertura in presenza di una falda intestata ad una media profondità.

In tali aree 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 le nuove costruzioni 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-struttura. In via preliminare, nell'area destinata a edificazione si ritiene sufficiente adottare a sostegno delle costruzioni, delle *fondazioni dirette*, ferma restando la necessità che in sede di progettazione dei singoli edifici vengano acquisiti ulteriori specifici dati di carattere litologico e geotecnico anche in funzione della tipologia costruttiva dei singoli fabbricati.

1.9 CONCLUSIONI

In considerazione di quanto suesposto, **si esprime parere favorevole circa la fattibilità geologica per la Variante al PRG di un area da “Agricola” a “Zona per attività tecniche, amministrative e rapporti con il pubblico di aziende che erogano servizi di interesse generale”, sita in Località Brancadoro, nel comune di Sant'Elpidio a Mare (FM).** Le attuali condizioni

del sottosuolo non verranno interessate da variazioni significative e non vengono individuati particolari limiti da imporre al progetto; pertanto l'attuale e naturale stabilità dell'area è comunque garantita anche a seguito delle singole opere.

Si esprime altresì **parere favorevole circa la compatibilità idraulica dell'area**, la quale, a seguito della *verifica di tipo semplificato (secondo livello di approfondimento)* risulta non interessata dalla pericolosità idraulica del territorio, legata all'assetto-evoluzione dei corsi d'acqua e ai potenziali fenomeni di esondazione che si propagano dagli stessi, inoltre si esclude, a seguito dell'attuazione della Variante Urbanistica, qualsiasi tipo di alterazione del regime idraulico sulle aree contermini, indotta dalle scelte urbanistiche, che garantiranno pertanto il mantenimento delle attuali linee di deflusso delle acque dilavanti verso le altre proprietà.

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, 20 Dicembre 2018

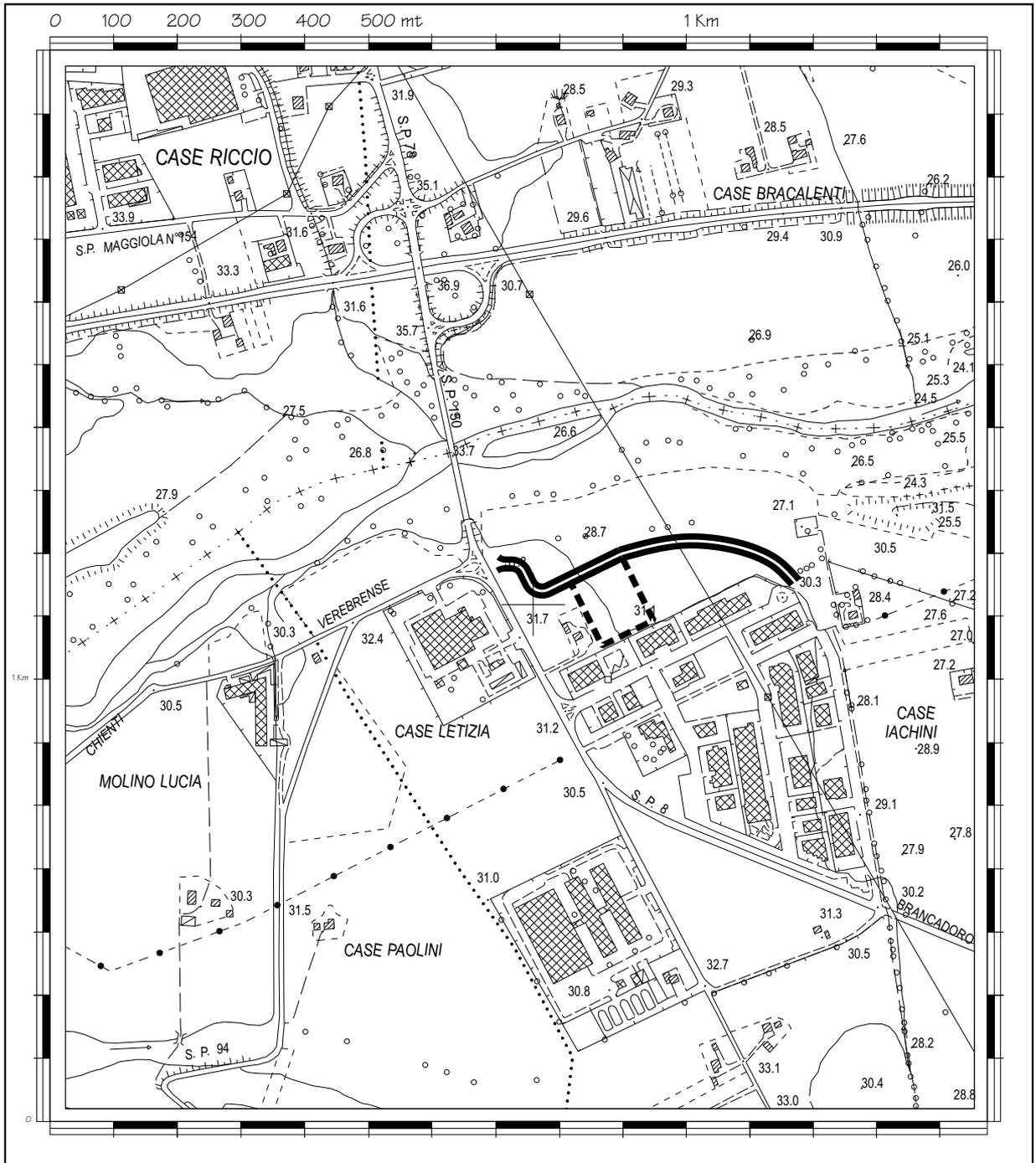
il geologo
Dr. Massimo Basili
ORDINE DEI GEOLOGI DELLA REGIONE MARCHE
geologo specialista
numero 277 albo sezione A (1988)



COROGRAFIA



Scala 1:10.000



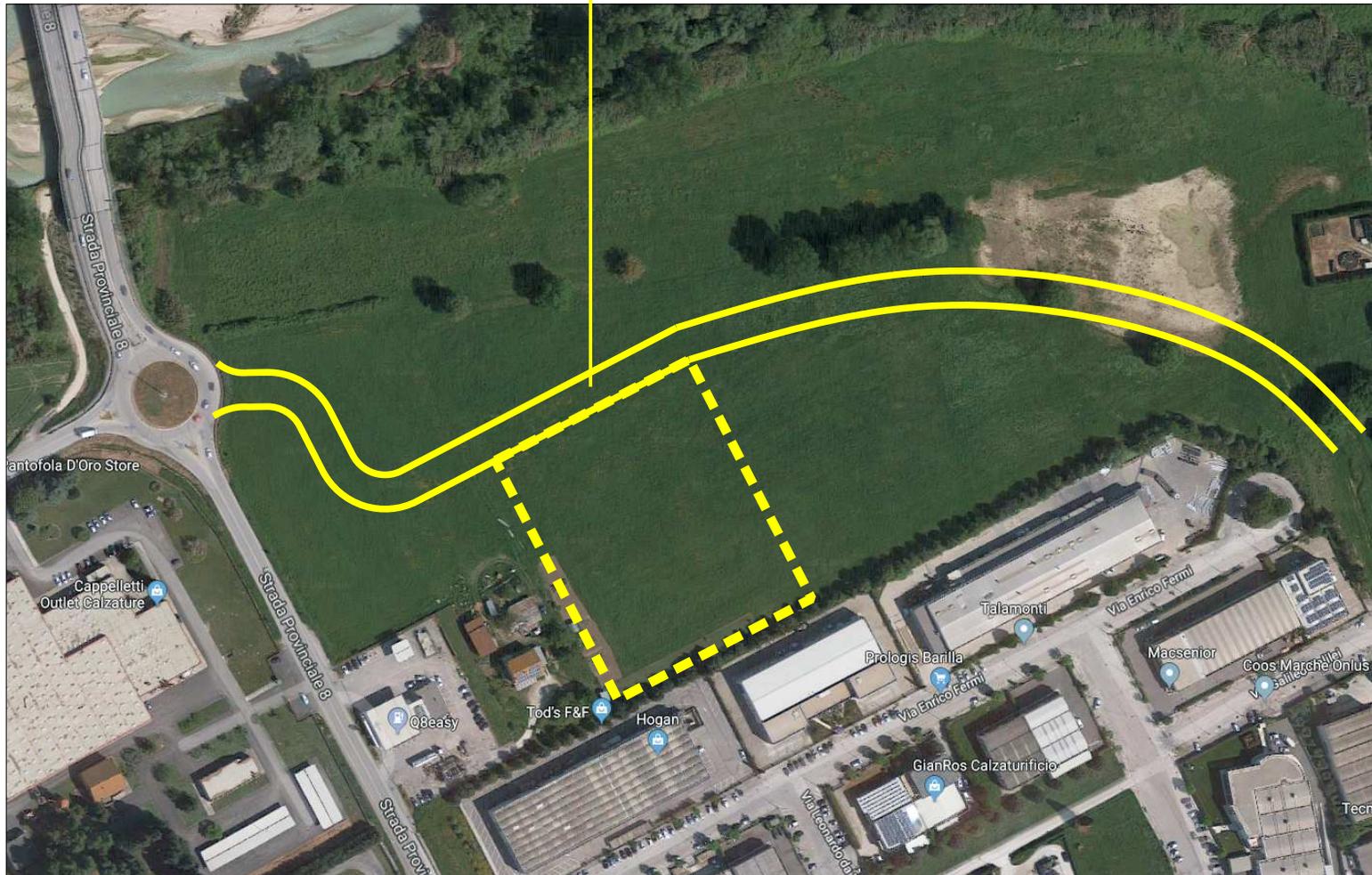
stralcio Carta Tecnica Regionale n.303120, comune di Sant'Elpidio a Mare (FM)



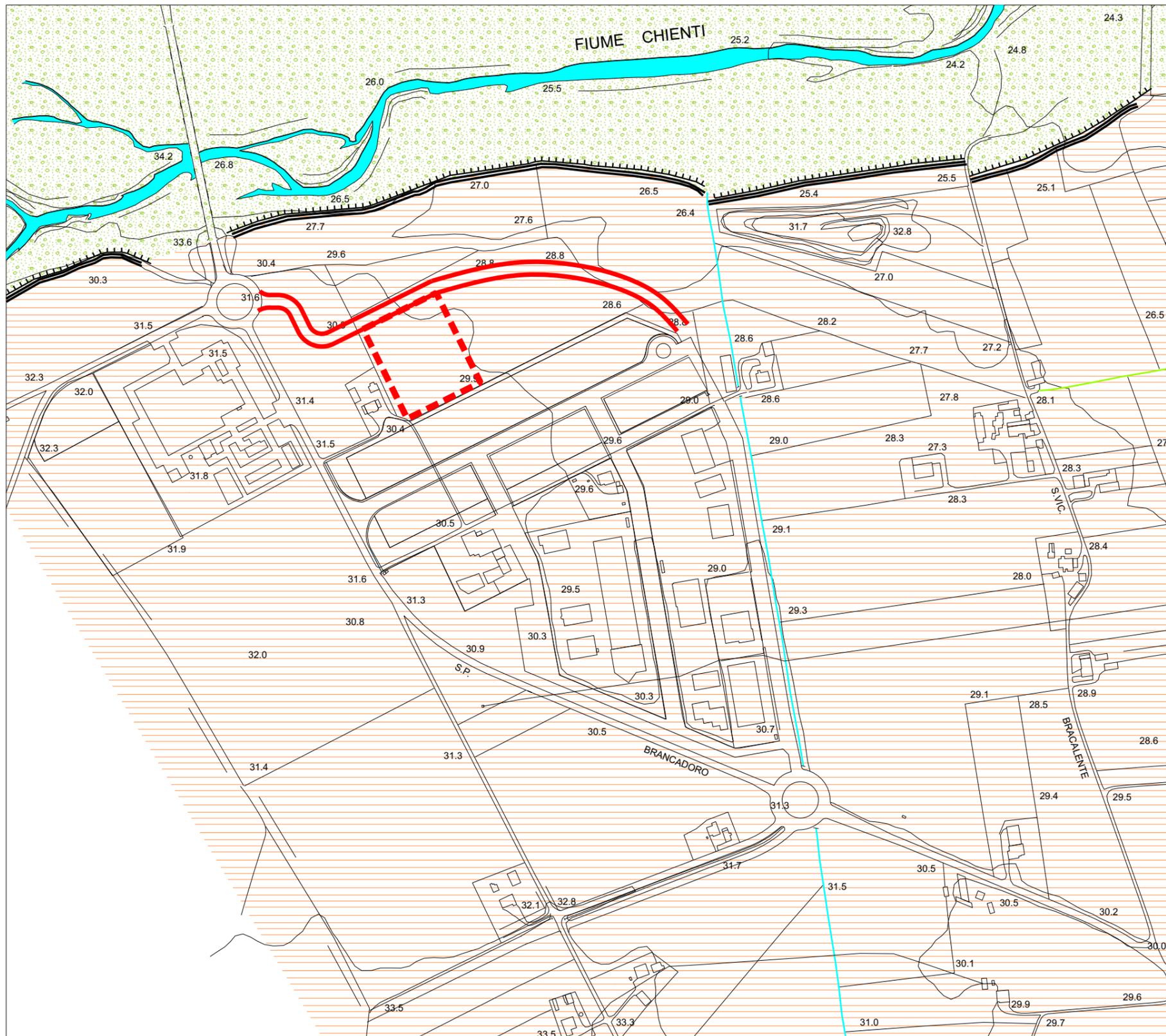
AREA DI INDAGINE

COROGRAFIA

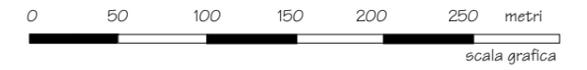
area in esame



stralcio foto satellitare comune di Sant'Elpidio a Mare (FM), località Brancadoro



CARTA GEOLOGICA e GEOMORFOLOGICA
scala 1:5 000



TAV. 1



LEGENDA

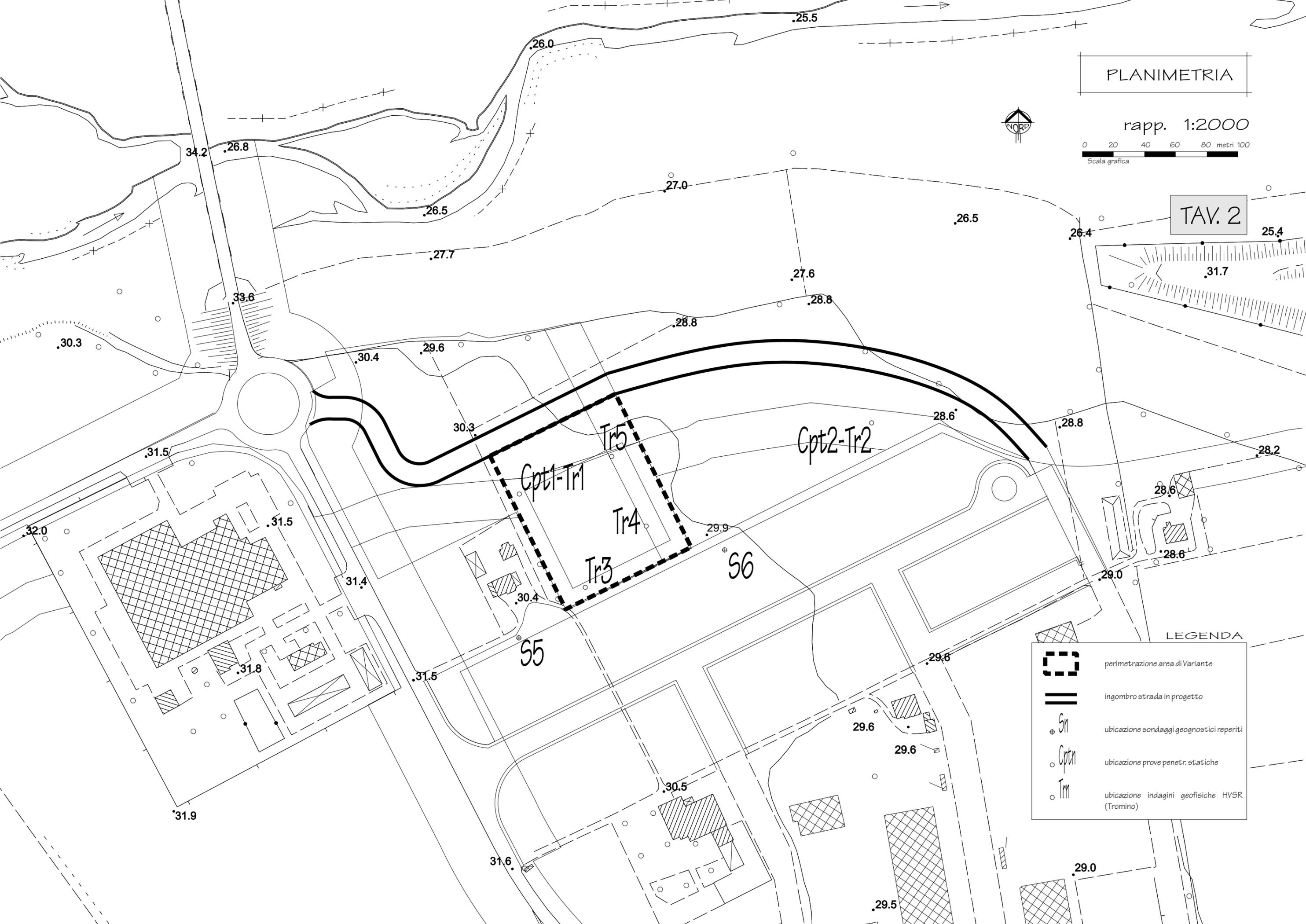
	ingombro area oggetto di intervento	
	Depositi alluvionali (IV ordine) Ghiaia e sabbia	
	Depositi palustri-alluvionali Limi sabbioso-argillosi e/o sabbie limose	
	scarpata antropica	forme e processi antropici
	argini fluviali artificiali	
	reticolo idrografico	forme e processi dovuti alle acque superficiali

PLANIMETRIA

rapp. 1:2000



TAV. 2



LEGENDA

- perimetrazione area di Variante
- ingombro strada in progetto
- ubicazione sondaggi geognostici reperiti
- ubicazione prove penetr. statiche
- ubicazione indagini geofisiche HVSR (Tromino)

PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT

CARATTERISTICHE TECNICHE STRUMENTALI

Tipo:	Pagani TG 63-100 EML.C
Diametro punta conica:	35.7 mm
Angolo di apertura punta:	60°
Manicotto laterale di attrito tipo:	Begemann ($\phi=35.7$ mm, $h=13.3$ mm, Sup.lat.=150 cmq)
Velocità di avanzamento costante:	$V=2$ cm/s +/- 0.5 cm/s
Spinta massima nominale dello strumento:	10 000 Kg
Costante di trasformazione dello strumento	10

FASI OPERATIVE

Fase 1:	resistenza alla punta	R_p (Kg/cmq)= lettura alla punta * Ct/10
Fase 2:	resistenza laterale locale	R_l (Kg/cmq)= (lett. laterale-lett. punta) * Ct/150
Fase 3:	resistenza totale	R_t (Kg) = lettura totale * Ct

N.B.: causa la distanza intercorrente (20 cm circa) fra il manicotto laterale e la punta conica del penetrometro, la resistenza laterale locale R_l viene computata 20 cm sopra la punta.

VALUTAZIONI LITOLOGICHE

Valutazioni in base al rapporto $F=R_p/R_l$ valide per terreni immersi in falda (Begemann 1965, Raccomandazioni A.G.I. 1977)

$F=R_p/R_l$	Natura Litologica	Proprietà
$F < 15$	Torbe ed Argille organiche	Coesive
$15 < F < 30$	Limi ed Argille	Coesive
$30 < F < 60$	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	Granulari/Coesive
$F > 60$	Sabbie e Sabbie con Ghiaie	Granulari

N.B.: le valutazioni debbono ritenersi valide ai fini orientativi.

PARAMETRI GEOTECNICI

γ (t/mc)	= peso di volume del terreno;
σ	= (pressione litostatica) tensione verticale geostatica efficace del terreno;
N_{cp}	= fattore di capacità portante dipendente dalla litologia del terreno e dall'angolo di apertura del cono (Raccomandazioni A.G.I. 1977, R. Tornaghi 1981, Ricceri et al. 1974);
C_u (kg/cmq)	= coesione non drenata, dipendente dalla pressione verticale agente ad una certa profondità;
OCR	= grado di sovraconsolidazione riferito a terreni coesivi (Ladd e Foott 1972-1974-1977, Schmertmann 1978);
M_o (kg/cmq)	= modulo di deformazione edometrico riferito a terreni coesivi (Sanglerat 1972, Mitchell e Gardner 1975 et al.)
D_r (%)	= densità relativa riferita a terreni granulari normal consolidati (Schmertmann 1976);
ϕ (gradi)	= angolo di attrito riferito a terreni granulari (Baldi et al. 1983, relazione di Herminier modificata);
E (kg/cmq)	= modulo di compressibilità riferito a terreni granulari (Trofimenkof 1974 modificato, Mitchel e Gardner 1975).

LETTURE DI CAMPAGNA - VALORI DI RESISTENZA

CPT 1

Committente: Amministrazione Comunale di Sant'Elpidio

data: 15/04/2010

Località: Brancadoro Sant'Elpidio a Mare (FM)

note:

falda (mt. pc.) 6

Letture di campagna			Rp				Rl		Rapporti	
			Valori di resistenza							
mt.	punta	laterale	mt.	Kg/cmq	mt.	Kg/cmq	mt.	Rp/Rl		
0			0		0		0			
0,2			0,2		0,2		0,2			
0,4	9	18	0,4	9	0,4	0,60	0,4	15		
0,6	17	25	0,6	17	0,6	0,53	0,6	32		
0,8	18	31	0,8	18	0,8	0,87	0,8	21		
1	19	40	1	19	1	1,40	1	14		
1,2	22	41	1,2	22	1,2	1,27	1,2	18		
1,4	24	45	1,4	24	1,4	1,40	1,4	17		
1,6	24	50	1,6	24	1,6	1,73	1,6	14		
1,8	22	47	1,8	22	1,8	1,67	1,8	13		
2	27	46	2	27	2	1,27	2	22		
2,2	36	66	2,2	36	2,2	2,00	2,2	18		
2,4	45	75	2,4	45	2,4	2,00	2,4	23		
2,6	44	81	2,6	45	2,6	2,47	2,6	18		
2,8	52	89	2,8	53	2,8	2,47	2,8	21		
3	32	57	3	33	3	1,67	3	20		
3,2	33	54	3,2	34	3,2	1,40	3,2	24		
3,4	32	50	3,4	33	3,4	1,20	3,4	27		
3,6	34	53	3,6	35	3,6	1,27	3,6	27		
3,8	29	49	3,8	30	3,8	1,33	3,8	22		
4	34	54	4	35	4	1,33	4	26		
4,2	29	44	4,2	30	4,2	1,00	4,2	30		
4,4	28	41	4,4	29	4,4	0,87	4,4	33		
4,6	22	35	4,6	23	4,6	0,87	4,6	26		
4,8	32	47	4,8	33	4,8	1,00	4,8	33		
5	22	41	5	23	5	1,27	5	18		
5,2	22	39	5,2	23	5,2	1,13	5,2	20		
5,4	26	40	5,4	27	5,4	0,93	5,4	29		
5,6	29	46	5,6	30	5,6	1,13	5,6	26		
5,8	29	50	5,8	30	5,8	1,40	5,8	21		
6	22	45	6	23	6	1,53	6	15		
6,2	26	40	6,2	27	6,2	0,93	6,2	29		
6,4	26	46	6,4	27	6,4	1,33	6,4	20		
6,6	22	37	6,6	23	6,6	1,00	6,6	23		
6,8	24	37	6,8	25	6,8	0,87	6,8	29		
7	22	40	7	23	7	1,20	7	19		
7,2	30	42	7,2	31	7,2	0,80	7,2	39		
7,4	38	56	7,4	39	7,4	1,20	7,4	32		
7,6	29	54	7,6	30	7,6	1,67	7,6	18		
7,8	20	42	7,8	21	7,8	1,47	7,8	14		
8	17	30	8	18	8	0,87	8	21		
8,2	35	105	8,2	36	8,2	4,67	8,2	8		
8,4	110	120	8,4	111	8,4	0,67	8,4	167		
8,6	39	47	8,6	40	8,6	0,53	8,6	75		
8,8	18	28	8,8	19	8,8	0,67	8,8	29		
9	77	105	9	78	9	1,87	9	42		
9,2	190	210	9,2	191	9,2	1,33	9,2	143		
9,4	300	450	9,4	301	9,4	10,00	9,4	30		
9,6	400	550	9,6	401	9,6	10,00	9,6	40		
9,8			9,8		9,8		9,8			
10			10		10		10			
10,2			10,2		10,2		10,2			
10,4			10,4		10,4		10,4			
10,6			10,6		10,6		10,6			
10,8			10,8		10,8		10,8			
11			11		11		11			
11,2			11,2		11,2		11,2			
11,4			11,4		11,4		11,4			
11,6			11,6		11,6		11,6			
11,8			11,8		11,8		11,8			
12			12		12		12			
12,2			12,2		12,2		12,2			
12,4			12,4		12,4		12,4			
12,6			12,6		12,6		12,6			
12,8			12,8		12,8		12,8			
13			13		13		13			

Penetrometro statico tipo PAGANI TG63-100 da 100 Kn (con anello allargatore)
 Costante di trasformazione Ct=10 Velocità di avanzamento punta 2 cm/sec
 Punta meccanica tipo Begemann (area punta 10 cmq apertura 60°)
 Manicotto laterale superficie 150 cmq

DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 1

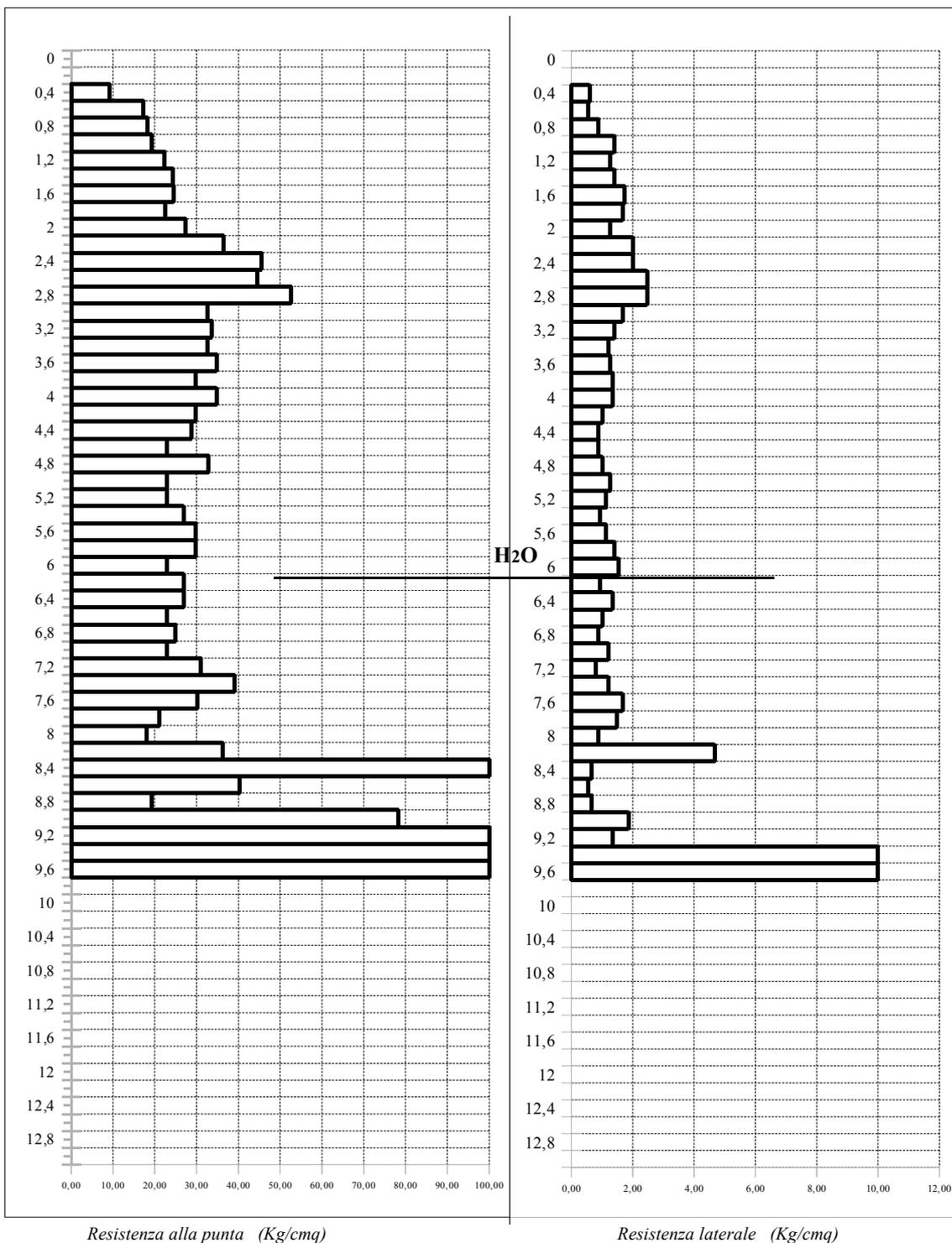
Committente: Amministrazione Comunale di Sant'Elpidio

data: 15/04/2010

Località: Brancadoro Sant'Elpidio a Mare (FM)

note:

falda (mt. pc.): 6,00



Penetrometro statico tipo PAGANI TG63-100 da 100 Kn (con anello allargatore)
Costante di trasformazione Ct=10 Velocità di avanzamento punta 2 cm/sec
Punta meccanica tipo Begemann (area punta 10 cmq apertura 60°)
Manicotto laterale superficie 150 cmq

VALUTAZIONI LITOLOGICHE

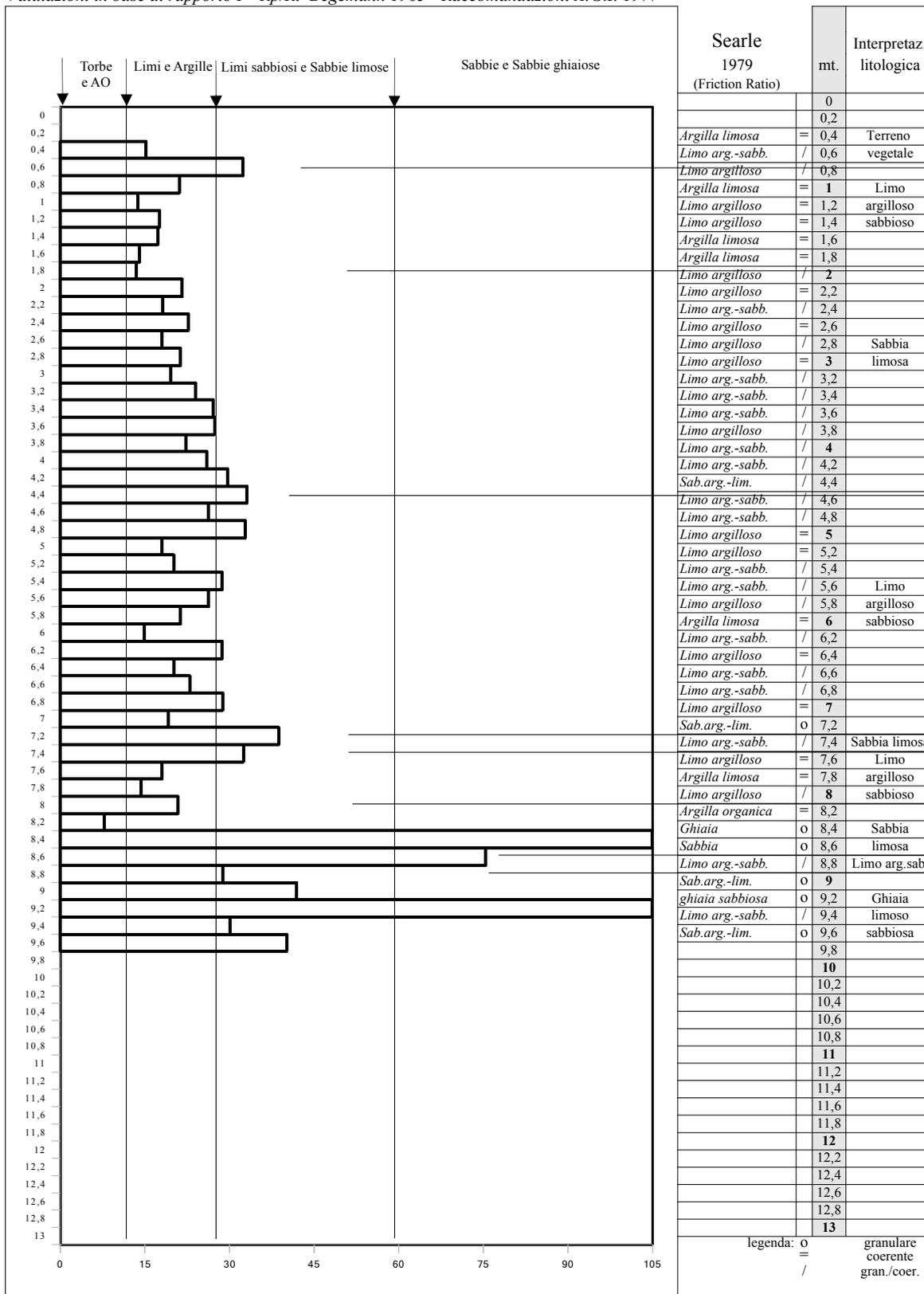
CPT 1

Committente: Amministrazione Comunale di Sant'Elpidio
Località: Brancadoro Sant'Elpidio a Mare (FM)

data: 15/04/2010

falda (mt. pc.): 6,00

Valutazioni in base al rapporto $F=Rp/Rl$ Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977



Penetrometro statico tipo PAGANI TG63-100 da 100 Kn (con anello allargatore)
Costante di trasformazione $C_t=10$ Velocità di avanzamento punta 2 cm/sec
Punta meccanica tipo Begemann (area punta 10 cmq apertura 60°)
Manicotto laterale superficie 150 cmq

PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 1

data: 15/04/2010

Committente: Amministrazione Comunale di Sant'Elpidio

Località: Brancadoro Sant'Elpidio a Mare (FM)

falda: 6,0 mt.pc.

note:

mt.	Rp	Natura litologica	γ	press litost.	NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE				mt.	
					Ncp	Cu	OCR	Mo		Dr	φ	E			
	Kg/cmq		t/mc	Kg/cmq	(-)	Kg/cmq	(-)	Kg/cmq	medie	%	(°)	Kg/cmq	Kg/cmq	medie	
0,0	0		1,90	0,04											0
0,2	9	Terreno vegetale	1,90	0,08	22	0,4	16	41							0,2
0,4	17		1,90	0,11	21	0,8	22	58							0,4
0,6	18		1,90	0,15	20	0,9	18	59							0,6
0,8	19	Limo	1,90	0,19	20	0,9	15	60	65						0,8
1	22	argilloso	1,90	0,23	20	1,1	15	67							1
1,2	24	sabbioso	1,90	0,27	19	1,3	14	73							1,2
1,4	24		1,90	0,30	19	1,3	13	73							1,4
1,6	22		1,90	0,34	20	1,1	10	67							1,6
1,8	27		1,90	0,38						22	28,9	96			1,8
2	36		1,90	0,42						31	29,9	127			2
2,2	45		1,90	0,46						37	30,7	159			2,2
2,4	45		1,90	0,49						37	30,1	156			2,4
2,6	53		1,90	0,53						40	30,6	184			2,6
2,8	33	Sabbia	1,90	0,57						28	27,6	114			2,8
3	34	limosa	1,90	0,61						29	27,4	117	125		3
3,2	33		1,90	0,65						28	26,9	114			3,2
3,4	35		1,90	0,68						30	26,9	121			3,4
3,6	30		1,90	0,72						25	27,7	104			3,6
3,8	35		1,90	0,76						30	26,4	121			3,8
4	30		1,90	0,80						25	26,4	104			4
4,2	29		1,90	0,84						24	25,4	100			4,2
4,4	23		1,90	0,87	19	1,1	4	68							4,4
4,6	33		1,90	0,91	18	1,8	6	98							4,6
4,8	23		1,90	0,95	19	1,1	4	68							4,8
5	23		1,90	0,99	19	1,1	3	68							5
5,2	27		1,90	1,03	19	1,4	4	80							5,2
5,4	30	Limo	1,90	1,06	18	1,6	5	89							5,4
5,6	30	argilloso	1,90	1,10	18	1,6	4	89	78						5,6
5,8	23	sabbioso	0,90	1,12	19	1,1	3	68							5,8
6	27		0,90	1,14	19	1,4	4	80							6
6,2	27		0,90	1,16	19	1,4	4	80							6,2
6,4	23		0,90	1,17	19	1,1	3	69							6,4
6,6	25		0,90	1,19	19	1,3	3	75							6,6
6,8	23		0,90	1,21	19	1,1	3	69							6,8
7	31		0,90	1,23	18	1,7	4	93							7
7,2	39	Sabbia limosa	0,90	1,25						34	27,0	136			7,2
7,4	30	Limo	0,90	1,26	18	1,6	4	90							7,4
7,6	21	argilloso	0,90	1,28	20	1,0	2	63	71						7,6
7,8	18	sabbioso	0,90	1,30	20	0,8	2	59							7,8
8	36		0,90	1,32						31	26,0	126			8
8,2	111	Sabbia	0,90	1,34						62	31,3	389	219		8,2
8,4	40	limosa	0,90	1,35						35	27,4	141			8,4
8,6	19	Limo arg.sab.	0,90	1,37	20	0,9	2	60							8,6
8,8	78		0,90	1,39						49	29,3	274			8,8
9	191	Ghiaia	0,90	1,41						83	34,2	669	851		9
9,2	301	limoso	0,90	1,43						>85	36,5	1054			9,2
9,4	401	sabbiosa	0,90	1,44						>85	38,1	1405			9,4
9,6															9,6
9,8															9,8
10															10
10,2															10,2
10,4															10,4
10,6															10,6
10,8															10,8
11															11
11,2															11,2
11,4															11,4
11,6															11,6
11,8															11,8
12															12
12,2															12,2
12,4															12,4
12,6															12,6
12,8															12,8
13															13

Penetrometro statico tipo PAGANI TG63-100 da 100 Kn (con anello allargatore)
 Costante di trasformazione Ct=10 Velocità di avanzamento punta 2 cm/sec
 Punta meccanica tipo Begemann (area punta 10 cmq apertura 60°)
 Manicotto laterale superficie 150 cmq

LETTURE DI CAMPAGNA - VALORI DI RESISTENZA

CPT 2

Committente: Amministrazione Comunale di Sant'Elpidio

data: 15/04/2010

Località: Brancadoro Sant'Elpidio a Mare (FM)

note:

falda (mt. pc.) 6

Letture di campagna			Valori di resistenza				Rapporti	
mt.	punta	laterale	mt.	Kg/cmq	mt.	Kg/cmq	mt.	Rp/Rl
0			0		0		0	
0,2			0,2		0,2		0,2	
0,4	12	24	0,4	12	0,4	0,80	0,4	15
0,6	15	29	0,6	15	0,6	0,93	0,6	16
0,8	22	36	0,8	22	0,8	0,93	0,8	24
1	22	42	1	22	1	1,33	1	17
1,2	22	50	1,2	22	1,2	1,87	1,2	12
1,4	19	50	1,4	19	1,4	2,07	1,4	9
1,6	26	58	1,6	26	1,6	2,13	1,6	12
1,8	26	54	1,8	26	1,8	1,87	1,8	14
2	25	58	2	25	2	2,20	2	12
2,2	24	53	2,2	24	2,2	1,93	2,2	13
2,4	31	65	2,4	31	2,4	2,27	2,4	14
2,6	36	66	2,6	37	2,6	2,00	2,6	18
2,8	37	69	2,8	38	2,8	2,13	2,8	18
3	41	79	3	42	3	2,53	3	16
3,2	35	64	3,2	36	3,2	1,93	3,2	18
3,4	33	60	3,4	34	3,4	1,80	3,4	19
3,6	39	58	3,6	40	3,6	1,27	3,6	31
3,8	40	62	3,8	41	3,8	1,47	3,8	28
4	39	74	4	40	4	2,33	4	17
4,2	26	57	4,2	27	4,2	2,07	4,2	13
4,4	28	54	4,4	29	4,4	1,73	4,4	17
4,6	31	50	4,6	32	4,6	1,27	4,6	25
4,8	31	52	4,8	32	4,8	1,40	4,8	23
5	26	48	5	27	5	1,47	5	18
5,2	22	38	5,2	23	5,2	1,07	5,2	21
5,4	14	29	5,4	15	5,4	1,00	5,4	15
5,6	19	31	5,6	20	5,6	0,80	5,6	25
5,8	22	31	5,8	23	5,8	0,60	5,8	38
6	15	30	6	16	6	1,00	6	16
6,2	20	30	6,2	21	6,2	0,67	6,2	31
6,4	16	24	6,4	17	6,4	0,53	6,4	32
6,6	14	27	6,6	15	6,6	0,87	6,6	17
6,8	21	32	6,8	22	6,8	0,73	6,8	30
7	20	30	7	21	7	0,67	7	31
7,2	21	32	7,2	22	7,2	0,73	7,2	30
7,4	18	36	7,4	19	7,4	1,20	7,4	16
7,6	20	32	7,6	21	7,6	0,80	7,6	26
7,8	19	52	7,8	20	7,8	2,20	7,8	9
8	225	250	8	226	8	1,67	8	136
8,2	180	230	8,2	181	8,2	3,33	8,2	54
8,4	370	420	8,4	371	8,4	3,33	8,4	111
8,6	307	360	8,6	308	8,6	3,53	8,6	87
8,8			8,8		8,8		8,8	
9			9		9		9	
9,2			9,2		9,2		9,2	
9,4			9,4		9,4		9,4	
9,6			9,6		9,6		9,6	
9,8			9,8		9,8		9,8	
10			10		10		10	
10,2			10,2		10,2		10,2	
10,4			10,4		10,4		10,4	
10,6			10,6		10,6		10,6	
10,8			10,8		10,8		10,8	
11			11		11		11	
11,2			11,2		11,2		11,2	
11,4			11,4		11,4		11,4	
11,6			11,6		11,6		11,6	
11,8			11,8		11,8		11,8	
12			12		12		12	
12,2			12,2		12,2		12,2	
12,4			12,4		12,4		12,4	
12,6			12,6		12,6		12,6	
12,8			12,8		12,8		12,8	
13			13		13		13	

Penetrometro statico tipo PAGANI TG63-100 da 100 Kn (con anello allargatore)
 Costante di trasformazione Ct=10 Velocità di avanzamento punta 2 cm/sec
 Punta meccanica tipo Begemann (area punta 10 cmq apertura 60°)
 Manicotto laterale superficie 150 cmq

DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 2

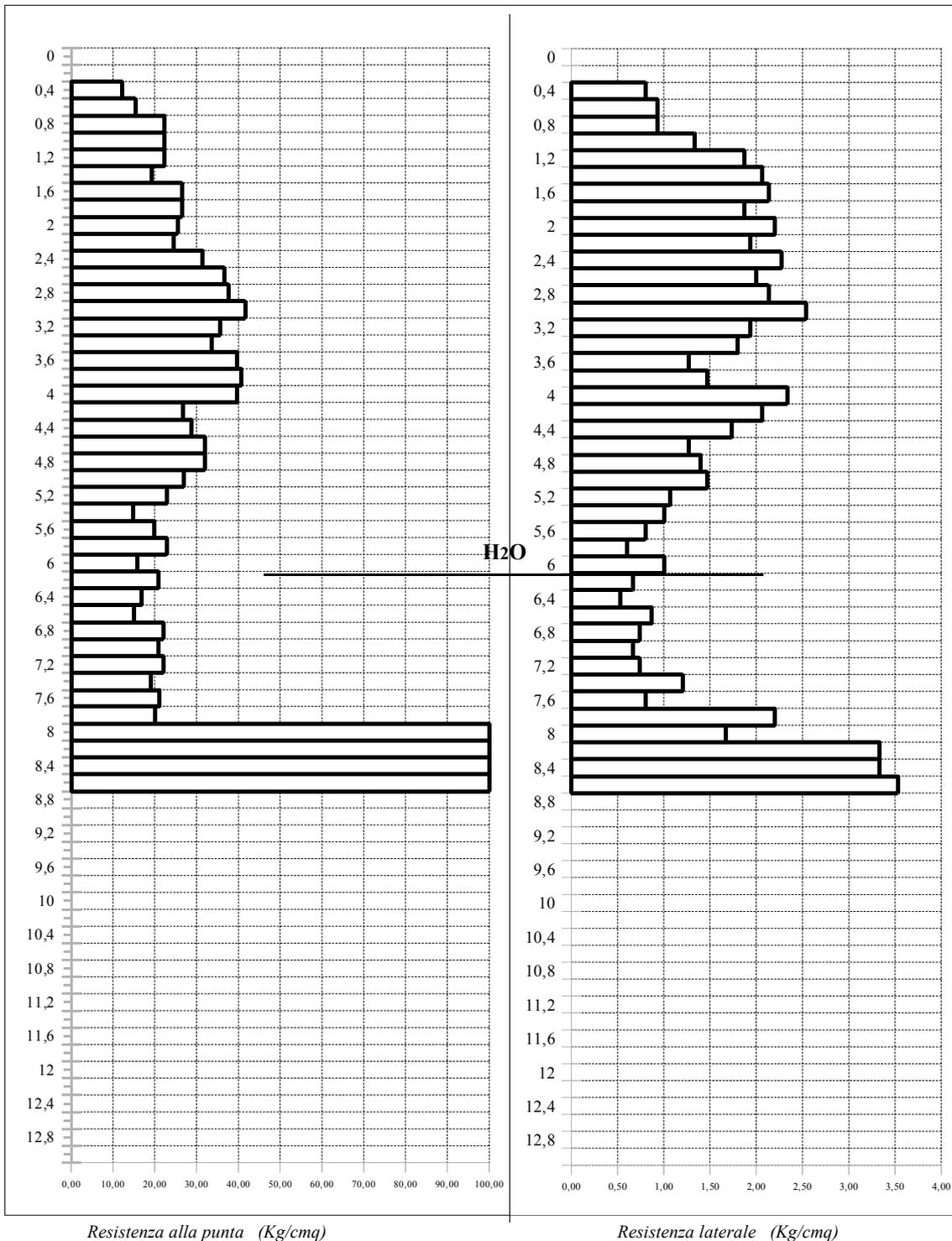
Committente: Amministrazione Comunale di Sant'Elpidio

data: 15/04/2010

Località: Brancadoro Sant'Elpidio a Mare (FM)

note:

falda (mt. pc.): 6,00



Penetrometro statico tipo PAGANI TG63-100 da 100 Kn (con anello allargatore)
Costante di trasformazione Ct=10 Velocità di avanzamento punta 2 cm/sec
Punta meccanica tipo Begemann (area punta 10 cmq apertura 60°)
Manicotto laterale superficie 150 cmq

VALUTAZIONI LITOLOGICHE

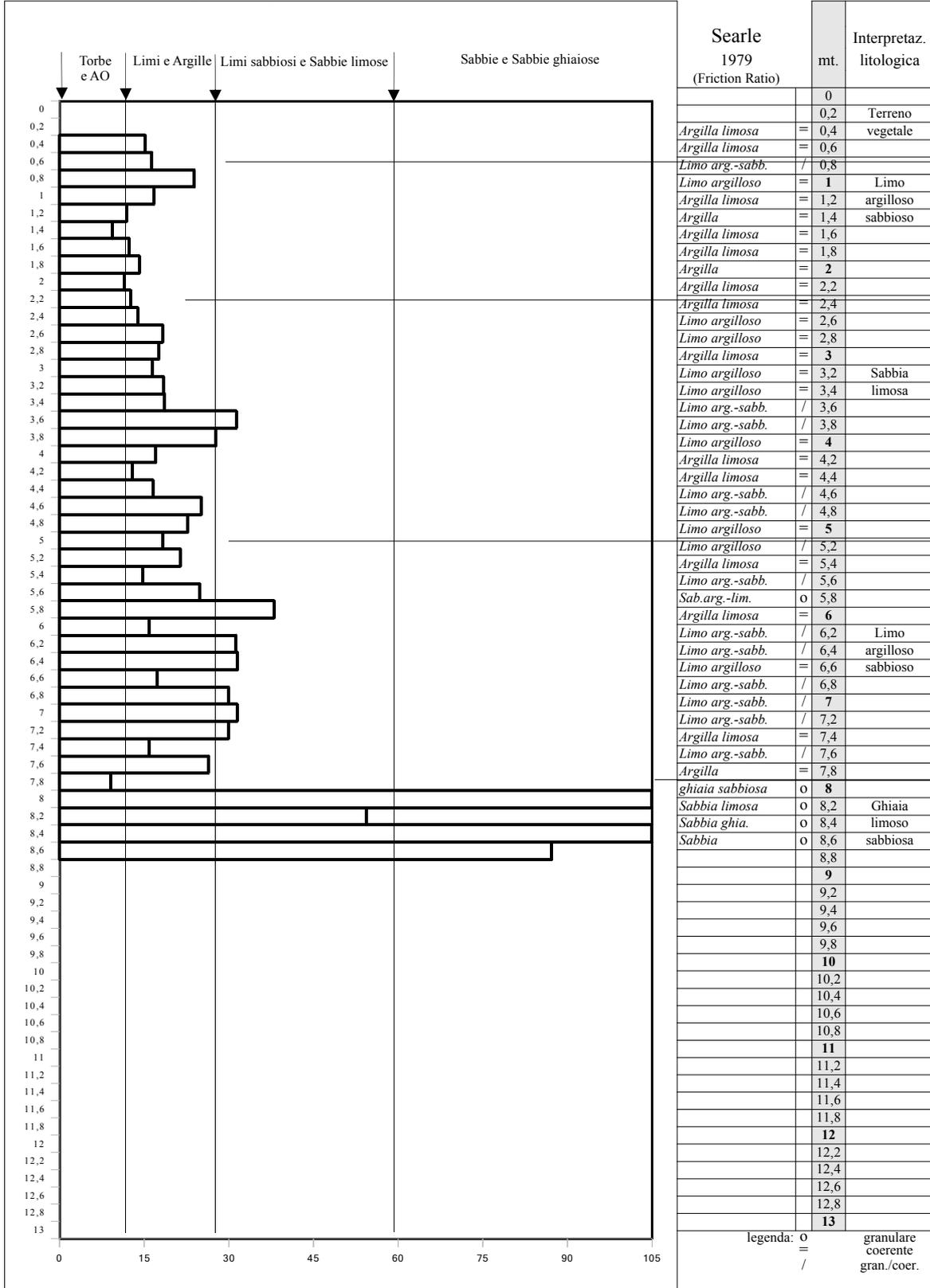
CPT 2

Committente: Amministrazione Comunale di Sant'Elpidio
Località: Brancadoro Sant'Elpidio a Mare (FM)

data: 15/04/2010

falda (mt. pc.): 6,00

Valutazioni in base al rapporto $F=Rp/Rl$ Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977



Penetrometro statico tipo PAGANI TG63-100 da 100 Kn (con anello allargatore)
Costante di trasformazione $C_t=10$ Velocità di avanzamento punta 2 cm/sec
Punta meccanica tipo Begemann (area punta 10 cmq apertura 60°)
Manicotto laterale superficie 150 cmq

PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 2

data: 15/04/2010

Committente: Amministrazione Comunale di Sant'Elpidio

Località: Brancadoro Sant'Elpidio a Mare (FM)

falda: 6,0 mt.pc.

note:

mt.	Rp	Natura litologica	γ	press litost.	NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE				mt.	
					Ncp	Cu	OCR	Mo		Dr	φ	E			
					(-)	Kg/cmq	(-)	Kg/cmq	Kg/cmq	medie	%	(°)	Kg/cmq		Kg/cmq
0,0	0		1,90	0,04											0
0,2	12	Terreno vegetale	1,90	0,08	22			49							0,2
0,4	15		1,90	0,11	21			55							0,4
0,6	22		1,90	0,15	20	1,1	23	67							0,6
0,8	22		1,90	0,19	20	1,1	18	67							0,8
1	22		1,90	0,23	20	1,1	15	67							1
1,2	19	Limo argilloso	1,90	0,27	20	0,9	11	60	71						1,2
1,4	26		1,90	0,30	19	1,4	14	79							1,4
1,6	26	sabbioso	1,90	0,34	19	1,4	12	79							1,6
1,8	2		1,90	0,38	19	1,3	11	76							1,8
2	24		1,90	0,42	19	1,3	9	73							2
2,2	31		1,85	0,46						26	28,7	110			2,2
2,4	37		1,85	0,49						32	29,0	128			2,4
2,6	38		1,85	0,53						33	28,8	131			2,6
2,8	3		1,85	0,57						36	29,0	145			2,8
3	36		1,85	0,60						31	27,8	124			3
3,2	34	Sabbia limosa	1,85	0,64						29	27,1	117			3,2
3,4	40		1,85	0,68						35	27,7	139	121		3,4
3,6	41		1,85	0,71						35	27,6	142			3,6
3,8	4		1,85	0,75						35	27,1	139			3,8
4	27		1,85	0,79						22	25,3	93			4
4,2	29		1,85	0,83						24	25,6	100			4,2
4,4	32		1,85	0,86						27	26,3	111			4,4
4,6	32		1,85	0,90						27	25,8	111			4,6
4,8	5		1,85	0,94						22	23,5	94			4,8
5	23		1,90	0,97	19	1,1	3	68							5
5,2	15		1,90	1,01	21	0,7	2	55							5,2
5,4	20		1,90	1,05	20	0,9	3	60							5,4
5,6	23		1,90	1,09	19	1,1	3	68							5,6
5,8	6	Limo argilloso	0,90	1,11	21	0,7	2	56							5,8
6	21		0,90	1,12	20	1,0	3	62							6
6,2	17	sabbioso	0,90	1,14	21	0,8	2	58	61						6,2
6,4	15		0,90	1,16	21	0,7	2	55							6,4
6,6	22		0,90	1,18	20	1,1	3	66							6,6
6,8	7		0,90	1,20	20	1,0	3	63							6,8
7	22		0,90	1,21	20	1,1	3	66							7
7,2	19		0,90	1,23	20	0,9	2	60							7,2
7,4	21		0,90	1,25	20	1,0	2	63							7,4
7,6	20		0,90	1,27	20	0,9	2	60							7,6
7,8	8		0,90	1,29						>85	34,6	791			7,8
8	181	Ghiaia limosa	0,90	1,30						80	34,1	634	951		8
8,2	371		0,90	1,32						>85	37,6	1299			8,2
8,4	308	sabbiosa	0,90	1,34						>85	36,6	1079			8,4
8,6															8,6
8,8															8,8
9															9
9,2															9,2
9,4															9,4
9,6															9,6
9,8															9,8
10															10
10,2															10,2
10,4															10,4
10,6															10,6
10,8															10,8
11															11
11,2															11,2
11,4															11,4
11,6															11,6
11,8															11,8
12															12
12,2															12,2
12,4															12,4
12,6															12,6
12,8															12,8
13															13

Penetrometro statico tipo PAGANI TG63-100 da 100 Kn (con anello allargatore)
 Costante di trasformazione Ct=10 Velocità di avanzamento punta 2 cm/sec
 Punta meccanica tipo Begemann (area punta 10 cmq - apertura 60°)
 Manicotto laterale superficie 150 cmq

SONDAGGIO - S5

SCALA 1 : 125 Pagina 1/1

Riferimento: SOFTER SPA	Sondaggio: S5
Località: Brancadoro, Sant'Elpidio a Mare (AP)	Quota: 30,0 m
Impresa esecutrice: Porrà Guido & C. Srl	Data: 19/10/07
Coordinate: 4792004.097 N 2411234.036 E (Gauss Boaga)	Redattore: Dott. Luigina Marcolini
Perforazione: carotaggio continuo a rotazione	

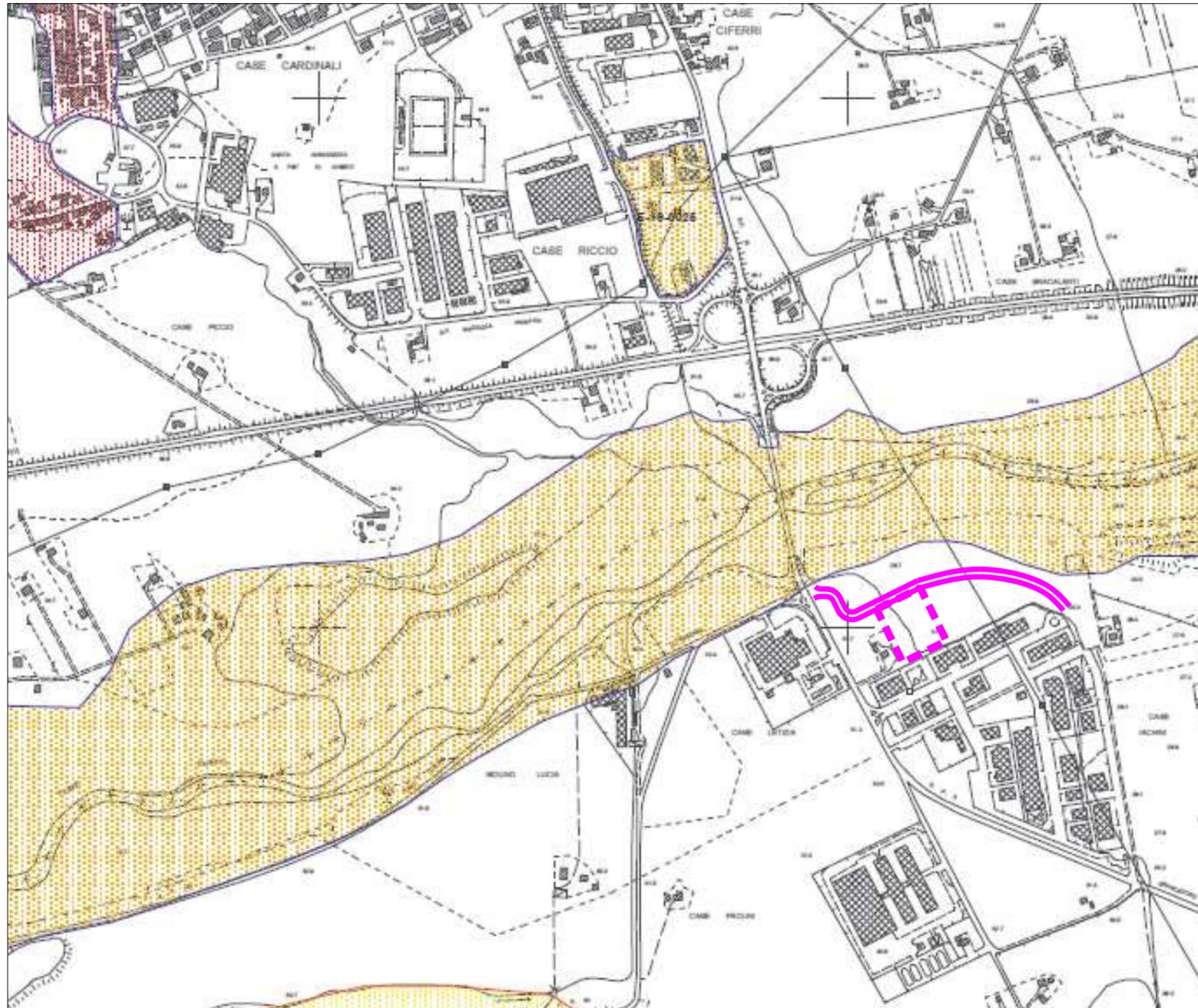
Ø mm	R v	A r	S	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	S.P.T.		RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE
											S.P.T.	N			
														0,4	Massetto cementizio
					1										Riporto costituito da limo argilloso frammisto a ghiaietto e sabbia di colore bruno-grigiastro, compatto con plasticità bassa.
					2									1,6	Prelievo campioni: S5/C1 1 mt.
					3										Limo argilloso-sabbioso di colore nocciola-beige, con concrezioni nodulari sparse e velature di precipitazione carbonatica
					4									3,7	Presenti livelletti più sabbiosi a diverse altezze stratigrafiche. Plasticità bassa.
					5										Limo sabbioso di colore nocciola-beige, con concrezioni nodulari sparse e velature di precipitazione carbonatica.
					6									5,6	Presenti livelletti più sabbiosi a diverse altezze stratigrafiche.
					7									6,0	Da 7.00 mt litotipo umido, da 7.20 mt parzialmente saturo.
					8									7,2	Prelievo campioni: S5/c3 7.10 mt.
					9										Limo argilloso bruno scuro, umido, plasticità media.
					10									9,6	Limo sabbioso di colore nocciola-beige, con concrezioni nodulari sparse e velature di precipitazione carbonatica.
					11									10,0	Presenti livelletti più sabbiosi a diverse altezze stratigrafiche.
					12									10,7	Da 7.00 mt litotipo umido, da 7.20 mt parzialmente saturo.
					13										Prelievo campioni: S5/c3 7.10 mt.
					14										Sabbie limose nocciola chiaro, con macule grigie e rossastre, a livelli sciolte, in corrispondenza dell'aumento della frazione sabbiosa.
					15										Da 7.40 sature.
					16										Limo argilloso compatto marrone-nocciola inglobanti concrezioni carbonatiche di precipitazione.
					17										Sabbie limose nocciola chiaro, con macule grigie e rossastre, a livelli sciolte, in corrispondenza dell'aumento della frazione sabbiosa.
					18										Ghiaia e sabbia limosa, di colore nocciola, costituita da ciottoli medio-grossolani di origine calcarea immersi in una matrice limoso-sabbiosa talora abbondante.
					19										
					20										
					21										
					22										
					23										
					24									24,0	Argilla grigio-azzurra (Formazione marina Plio-Pleistocenica), costituita da argilla di colore grigio-azzurro stratificata a livelli sottili grigi di sabbia.
131					25									25,0	Prelievo campioni: S5/C4-24,30 mt.

SONDAGGIO - S6

SCALA 1 : 125 Pagina 1/1

Riferimento: SOFTER SPA	Sondaggio: S6
Località: Brancadoro, Sant'Elpidio a Mare (AP)	Quota: 29,6 m
Impresa esecutrice: Porrà Guido & C. Srl	Data: 17-19/10/07
Coordinate: 4792095.562 N 2411303.167 E (Gauss Boaga)	Redattore: Dott. Luigina Marcolini
Perforazione: carotaggio continuo a rotazione	

Ø mm	R v	A r	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	S.P.T.		RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE
									Prel. % 0 --- 100	S.P.T. N			
												0,4	Massetto cementizio
				1									Riporto costituito da limo argilloso frammisto a ghiaietto e sabbia di colore bruno-grigiastro, compatto con plasticità bassa.
				2								2,2	Prelievo campioni: S6/C1 1.00 mt.
				3									Limo argilloso bruno scuro, compatto, plasticità bassa.
				4									Prelievo campioni S6/c2 4 mt.
				5								5,0	
				6								6,0	Limo argilloso debolmente sabbioso, marrine-nocciola, diminuisce l'alterazione del sedimento .
				7									Limo sabbioso di colore nocciola-beige, con concrezioni nodulari sparse e velature di precipitazione carbonatica.
				8									Presenti livelletti più sabbiosi a diverse altezze stratigrafiche.
				9									Da 7.100 mt litotipo umido, da 7.30 mt parzialmente saturo. da 7.50 saturo.
				10								10,0	Prelievo campioni: S6/c3 7.30 mt.
				11									Ghiaia e sabbia limosa, di colore nocciola, costituita da ciottoli medio-grossolani di origine calcarea immersi in una matrice limoso-sabbiosa talora abbondante.
				12									
				13									
				14									
				15									
				16									
				17									
				18									
				19									
				20									
				21									
				22									
				23									
				24									
				25								25,0	Argilla grigio-azzurra (Formazione marina Plio-Pleistocenica), costituita da argilla di colore grigio-azzurro stratificata a livelli sottili grigi di sabbia.
131				26								26,0	Prelievo campioni: S6/C4-25,20 mt.



Comune di Sant'Elpidio a Mare (FM), località Brancadoro



REGIONE MARCHE
Autorità di Bacino Regionale

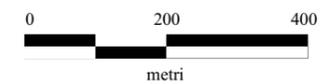
Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI)

Adottato dal Comitato Istituzionale con Delibere n.15/2001 e n. 42/2003
Approvato in via definitiva dal Consiglio Regionale con Delibera n.116/2004

CARTA DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO Aggiornata al 2016

Tavola RI 53a

SCALA 1:10.000



PROIEZIONE CONFORME DI GAUSS-BOAGA (SISTEMA NAZIONALE)

L'eqidistanza 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

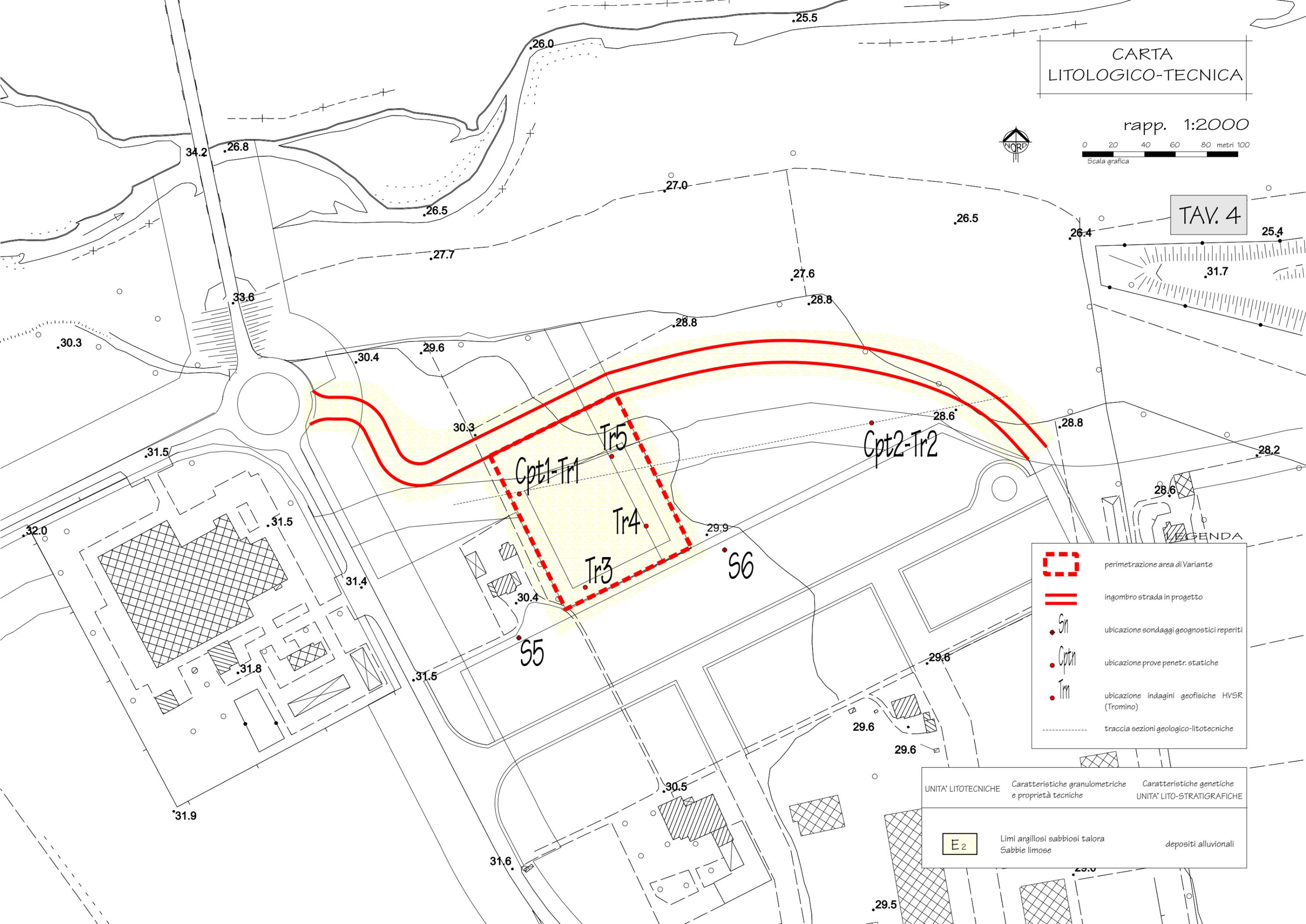
— numero identificativo di bacino
Z - XX - YYYY
— numero progressivo fenomeno
— iniziale tipo di rischio

CARTA
LITOLOGICO-TECNICA

rapp. 1:2000



TAV. 4



LEGENDA

	perimetrazione area di Variante
	ingombro strada in progetto
	ubicazione sondaggi geognostici reperiti
	ubicazione prove penetr. statiche
	ubicazione indagini geofisiche HVSR (Tromino)
	traccia sezioni geologico-litotecniche

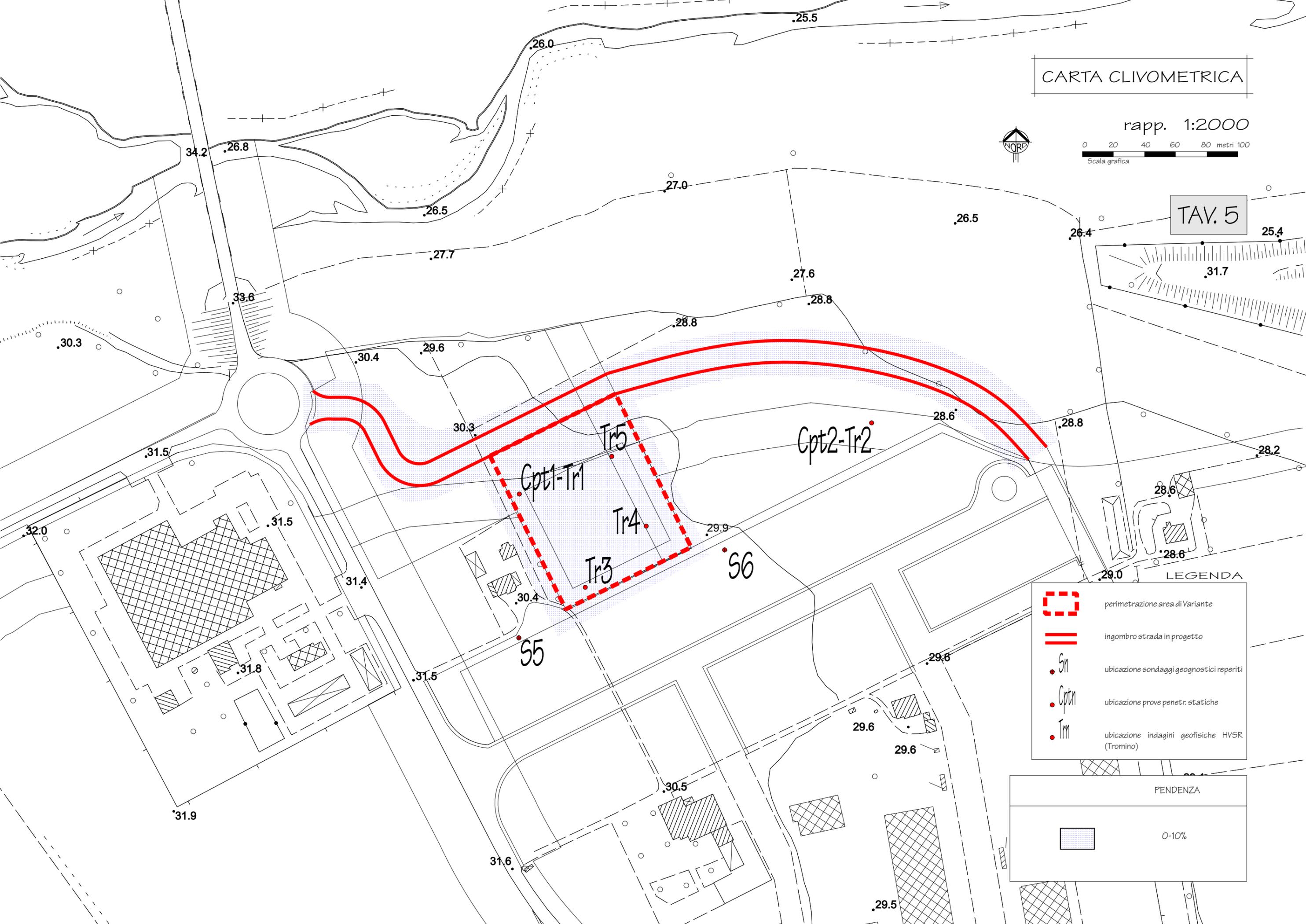
UNITA' LITOTECNICHE	Caratteristiche granulometriche e proprietà tecniche	Caratteristiche genetiche UNITA' LITO-STRATIGRAFICHE
	Limi argillosi sabbiosi talora Sabbie limose	depositi alluvionali

CARTA CLIVOMETRICA

rapp. 1:2000



TAV. 5



LEGENDA

-  perimetrazione area di Variante
-  ingombro strada in progetto
-  ubicazione sondaggi geognostici reperiti
-  ubicazione prove penetr. statiche
-  ubicazione indagini geofisiche HVSR (Tromino)

PENDENZA

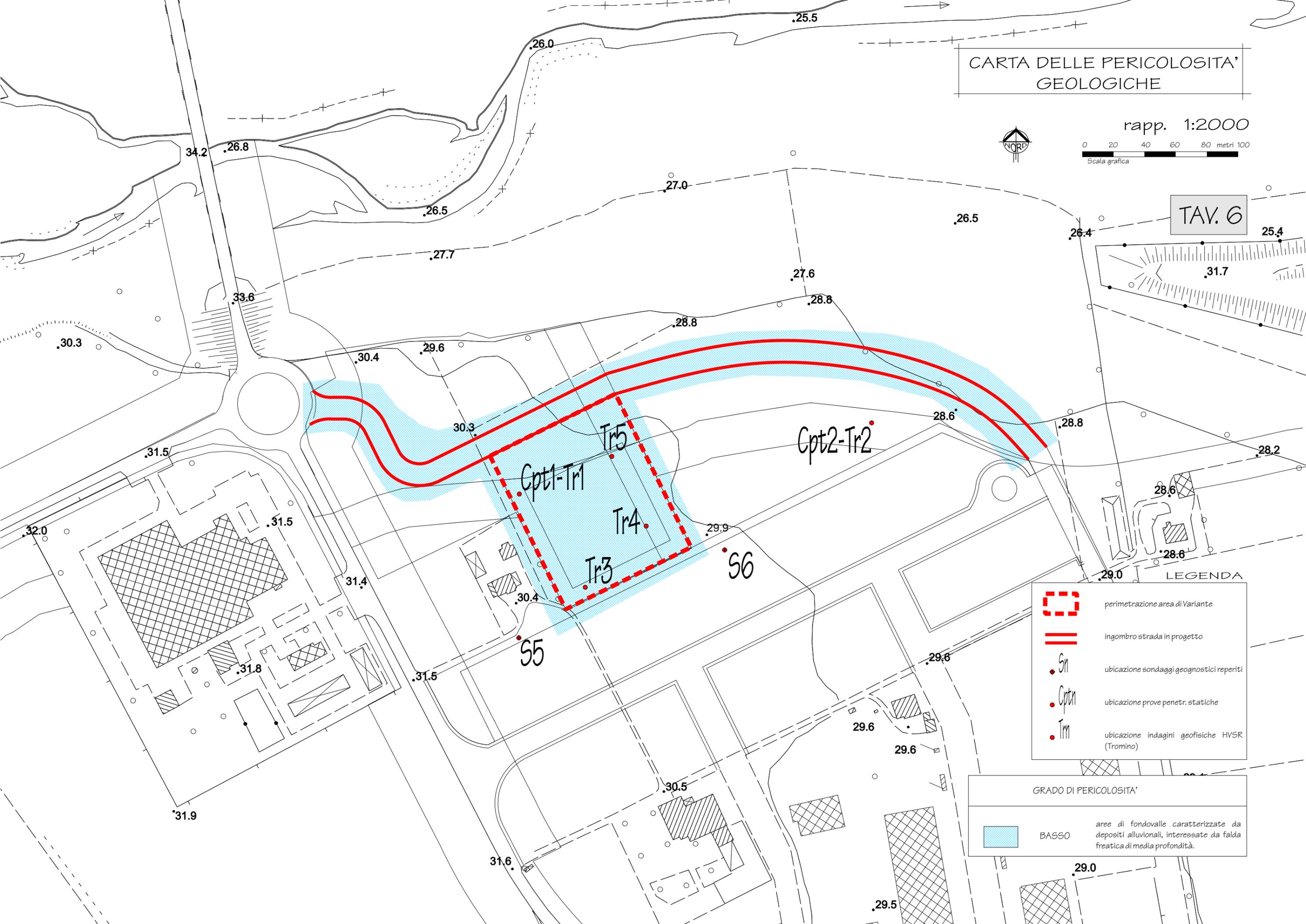
-  0-10%

CARTA DELLE PERICOLOSITA' GEOLOGICHE

rapp. 1:2000



TAV. 6



LEGENDA

-  perimetrazione area di Variante
-  ingombro strada in progetto
-  ubicazione sondaggi geognostici reperiti
-  ubicazione prove penetr. statiche
-  ubicazione indagini geofisiche HVSR (Tromino)

GRADO DI PERICOLOSITA'

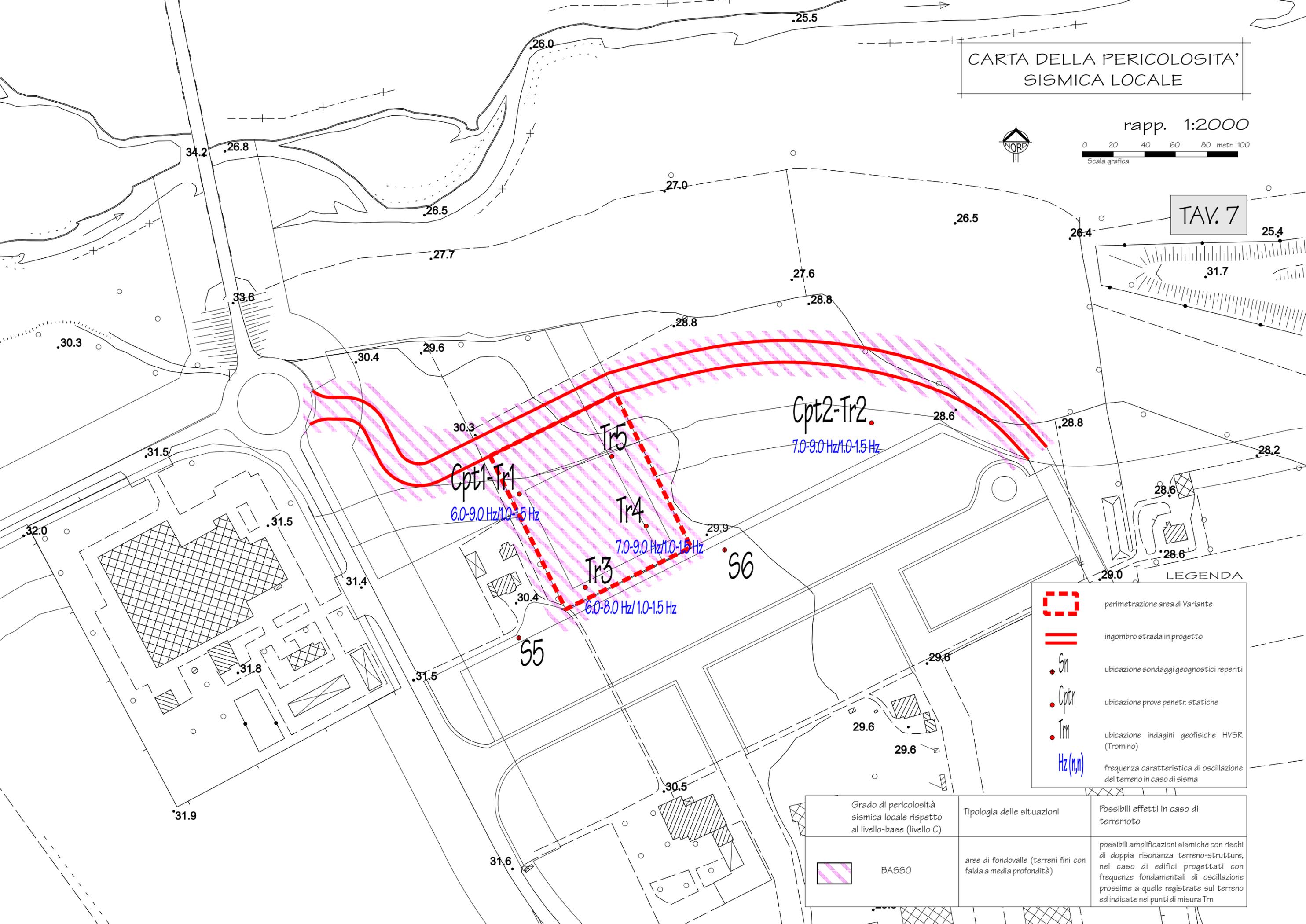
-  BASSO
aree di fondovalle caratterizzate da depositi alluvionali, interessate da falda freatica di media profondita'.

CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

rapp. 1:2000



TAV. 7



LEGENDA

-  perimetrazione area di Variante
-  ingombro strada in progetto
-  S_n ubicazione sondaggi geognostici reperiti
-  C_{ptn} ubicazione prove penetr. statiche
-  Tr_n ubicazione indagini geofisiche HVSR (Tromino)
-  Hz (n,n) frequenza caratteristica di oscillazione del terreno in caso di sisma

Grado di pericolosità sismica locale rispetto al livello-base (livello C)	Tipologia delle situazioni	Possibili effetti in caso di terremoto
 BASSO	aree di fondovalle (terreni fini con falda a media profondità)	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 Tr _n

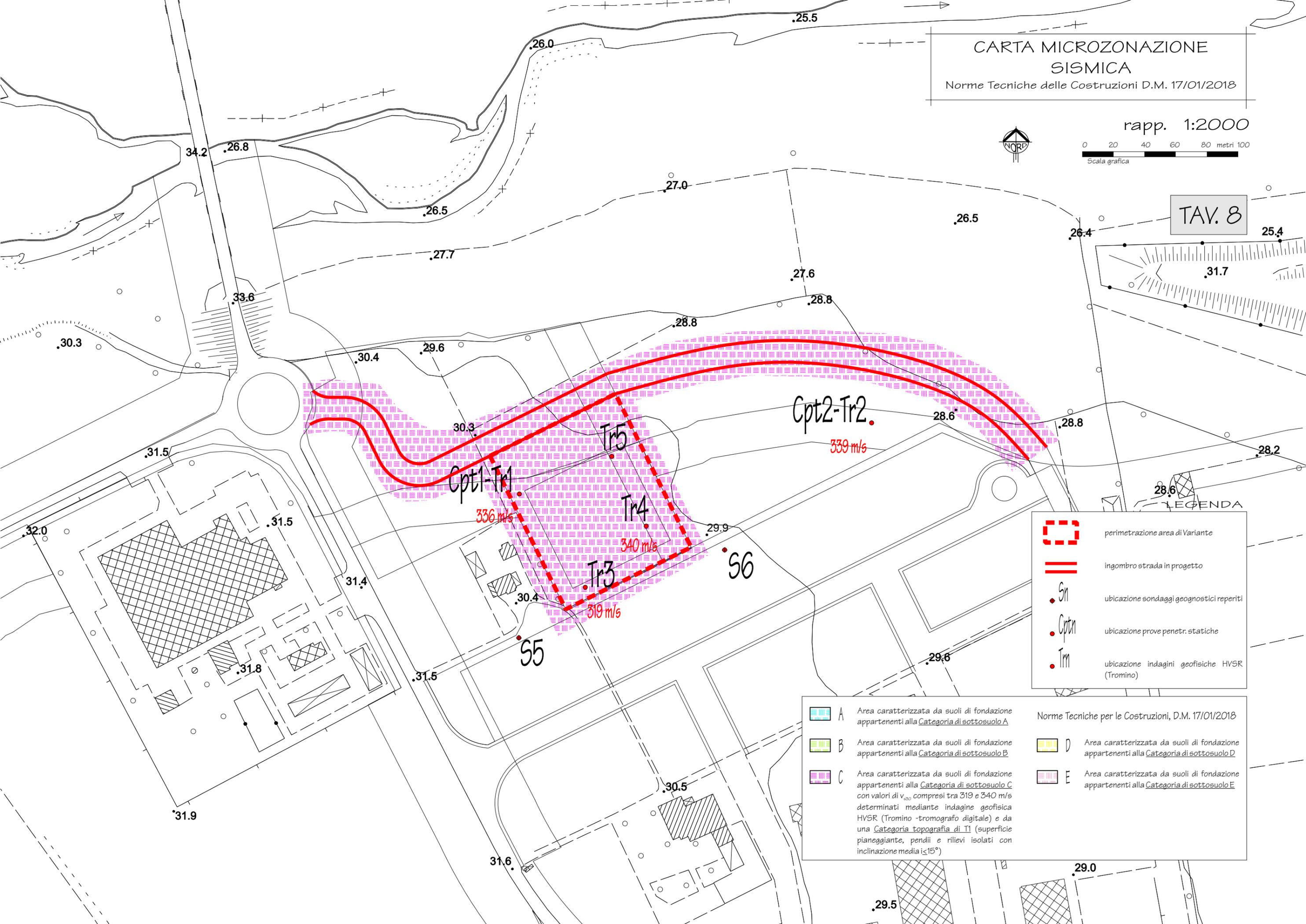
CARTA MICROZONAZIONE SISMICA

Norme Tecniche delle Costruzioni D.M. 17/01/2018

rapp. 1:2000



TAV. 8



LEGENDA

- perimetrazione area di Variante
- ingombro strada in progetto
- Sn
- Coptn
- Trn
- ubicazione sondaggi geognostici reperiti
- ubicazione prove penetr. statiche
- ubicazione indagini geofisiche HVSR (Tromino)

Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M. 17/01/2018

- A Area caratterizzata da suoli di fondazione appartenenti alla Categoria di sottosuolo A
- B Area caratterizzata da suoli di fondazione appartenenti alla Categoria di sottosuolo B
- C Area caratterizzata da suoli di fondazione appartenenti alla Categoria di sottosuolo C con valori di v_{30} compresi tra 319 e 340 m/s determinati mediante indagine geofisica HVSR (Tromino -tromografo digitale) e da una Categoria topografia di T1 (superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$)
- D Area caratterizzata da suoli di fondazione appartenenti alla Categoria di sottosuolo D
- E Area caratterizzata da suoli di fondazione appartenenti alla Categoria di sottosuolo E

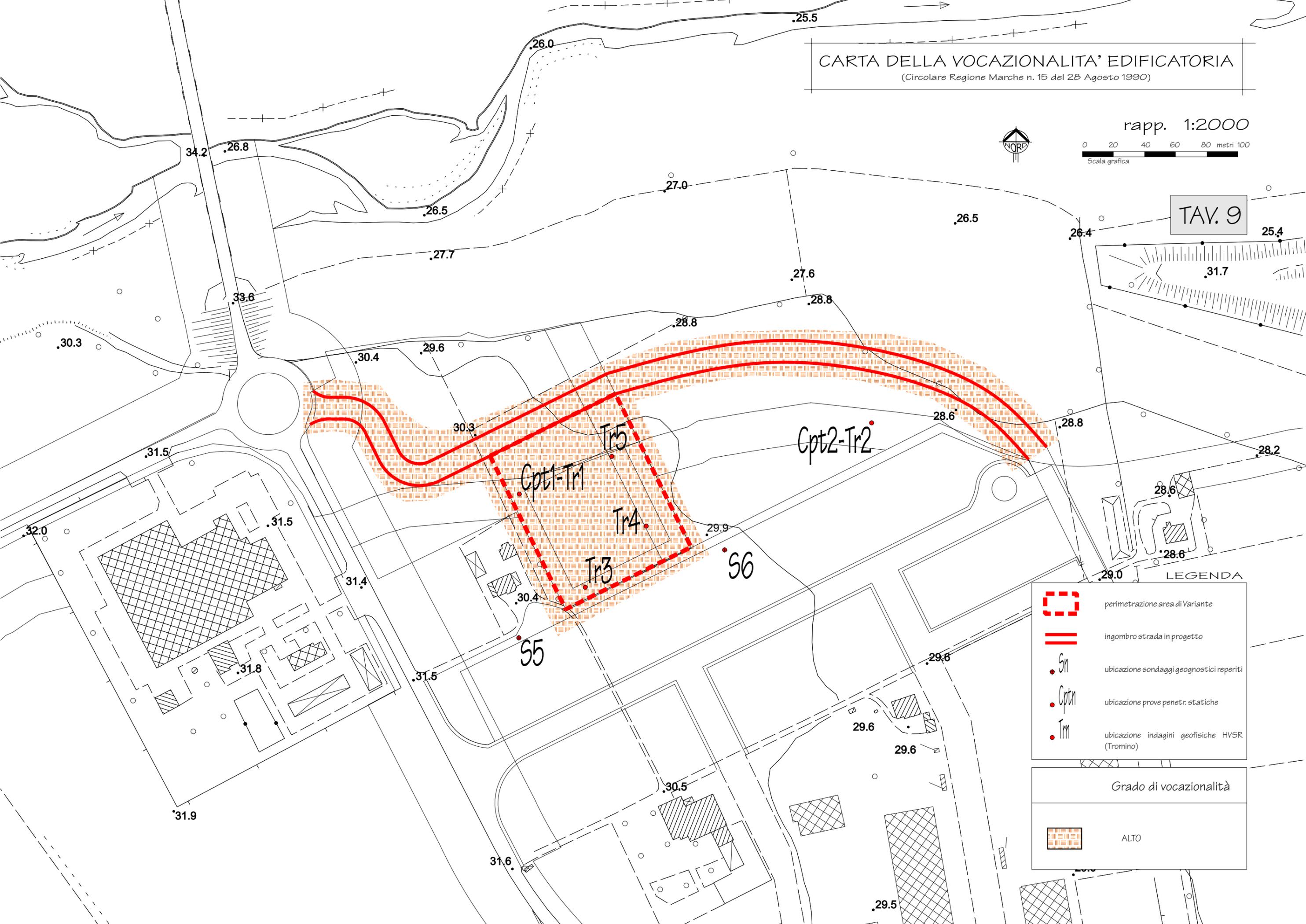
CARTA DELLA VOCAZIONALITA' EDIFICATORIA

(Circolare Regione Marche n. 15 del 28 Agosto 1990)

rapp. 1:2000



TAV. 9



LEGENDA

-  perimetrazione area di Variante
-  ingombro strada in progetto
-  ubicazione sondaggi geognostici reperiti
-  ubicazione prove penetr. statiche
-  ubicazione indagini geofisiche HVSR (Tromino)

Grado di vocazionalità



ALTO

SEZIONE GEOLOGICO-LITOTECNICA
scala 1:800



← SudOvest

NordEst →

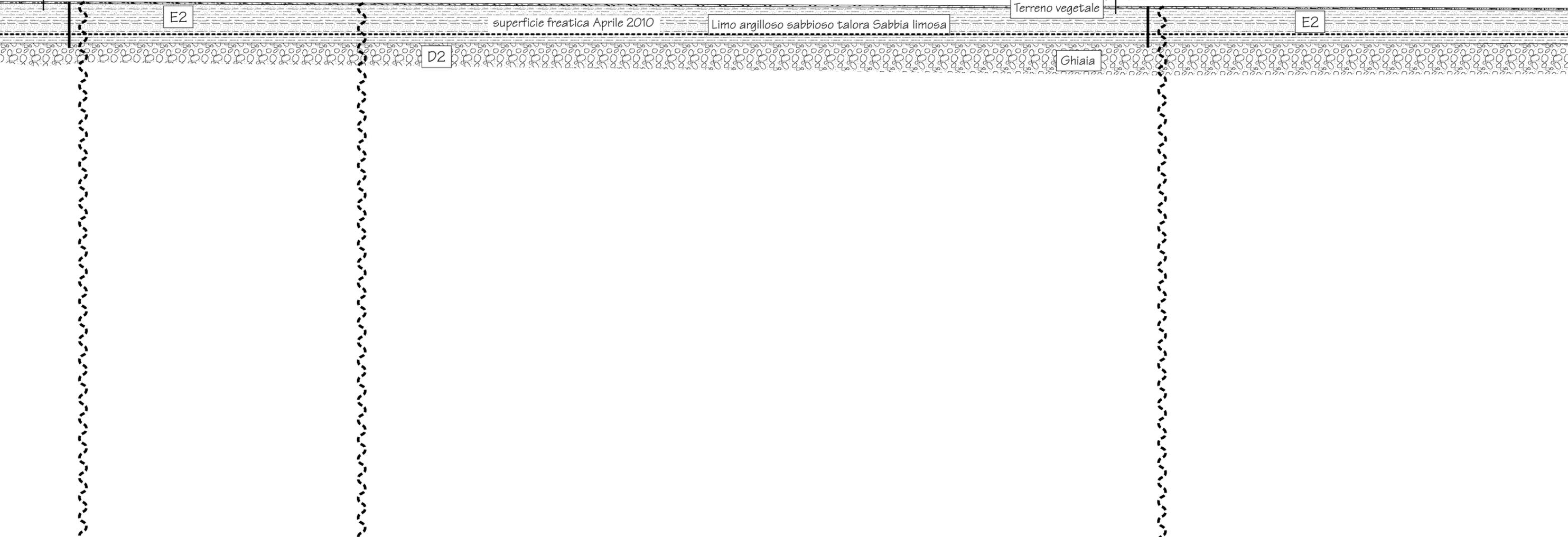
ingombro area oggetto di Variante

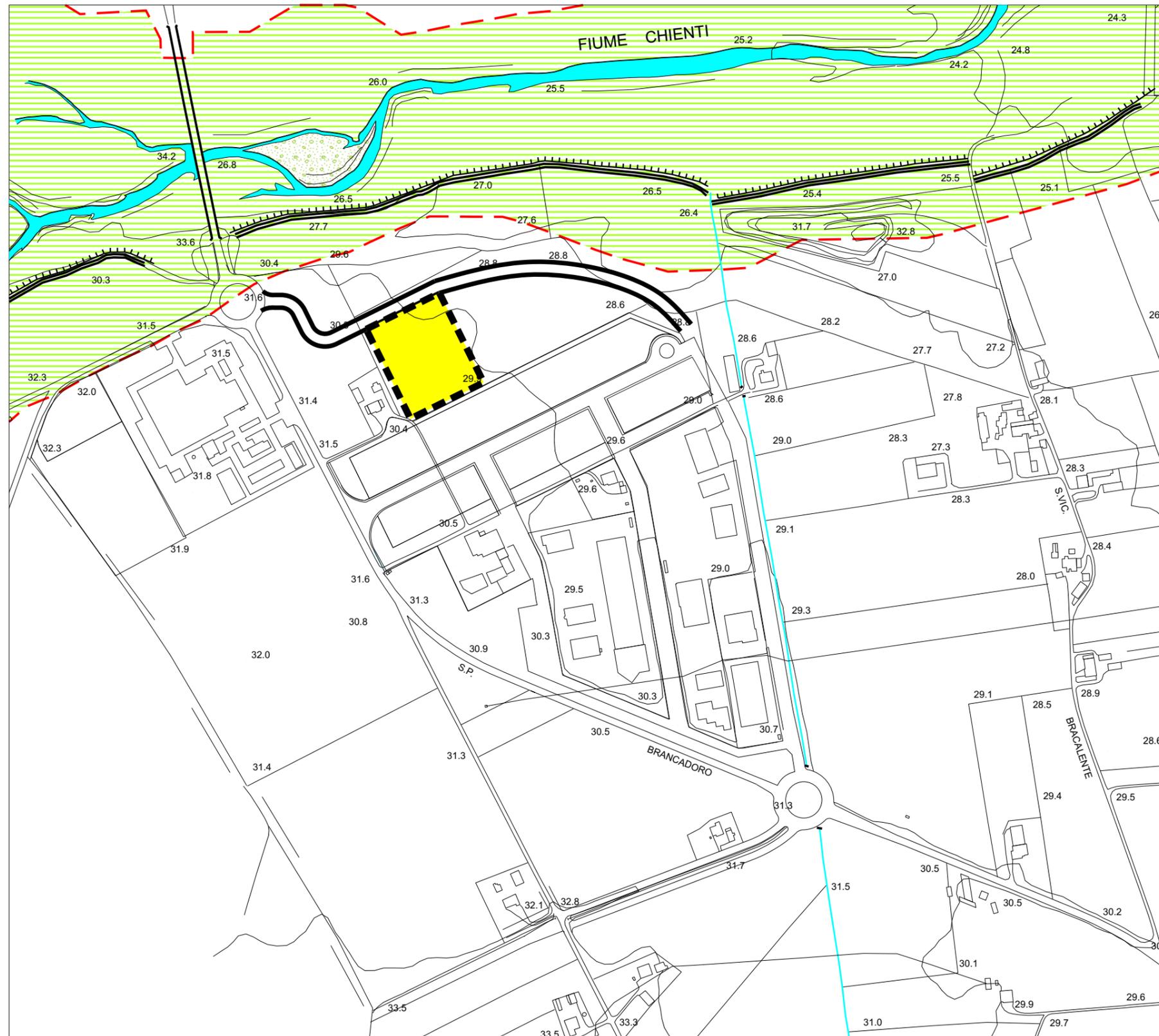
ingombro area
oggetto di Variante

Cpt1-Tr1

Tr5

Cpt2-Tr2





CARTA GEOMORFOLOGICA
 Aree inondabili
 e Aree di pertinenza fluviale
 scala 1:5 000



TAV. 11

LEGENDA

	area in esame
	aree perimetrare PAI
	scarpata antropica
	scarpata di erosione fluviale recente e attuale
	reticolo idrografico
	reticolo idrografico artificiale
	argini fluviali artificiali

<p>Dott. Massimo Basili GEOLOGO Via Fratte, 73 63821 PORTO SANT'ELPIDIO (FM) tel.0734.992797 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>Brancadoro, Sant'Elpidio a Mare (FM)</i></p> <p>Data esecuzione rilievo: <i>22 Aprile 2010 e 05 Dicembre 2018</i></p> <p>Committente: <i>società Tennacola spa</i></p>
---	--

INDAGINE SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA

Progetto di Variante parziale al PRG di un area da "Agricola" a "Zona per attività tecniche, amministrative e rapporti con il pubblico di aziende che erogano servizi di interesse generale", sita in Località Brancadoro, nel comune di Sant'Elpidio a Mare (FM)".

Porto Sant'Elpidio, 20 Dicembre 2018

il geologo
Dr. Massimo Basili
ORDINE DEI GEOLOGI DELLA REGIONE MARCHE
geologo specialista
numero 277 albo sezione A (1989)



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
Stazione Tr2	pag. 8
Stazione Tr3	pag. 10
Stazione Tr4	pag. 13
APPENDICE	pag. 17
Oggetto della misura: Il microtremore sismico ambientale	pag. 17
La tecnica impiegata: Cenni storici	pag. 18

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_s ,eq) come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 Gennaio 2008 e dell'Aggiornamento del 17 Gennaio 2018. 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 V_s e $V_{s,eq}$** 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 **$V_{s,eq}$** e la relativa categoria del suolo di fondazione come esplicitamente richiesto dal DM 17/01/18; per depositi con profondità H del substrato sismico superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$.

-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 *22 Aprile 2010* e *05 Dicembre 2018*, un'indagine geofisica attraverso l'acquisizione di n.5 registrazioni a stazione singola, denominate Tr1, Tr2, Tr3, Tr4 e Tr5 ubicate sul terreno di sedime (vedi Planimetria Tav3, allegata), scegliendo nell'interpretazione del presente studio le tracce Tr1, Tr2, Tr3 e Tr4 considerate qualitativamente migliori.

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 (prove penetrometriche eseguite 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.

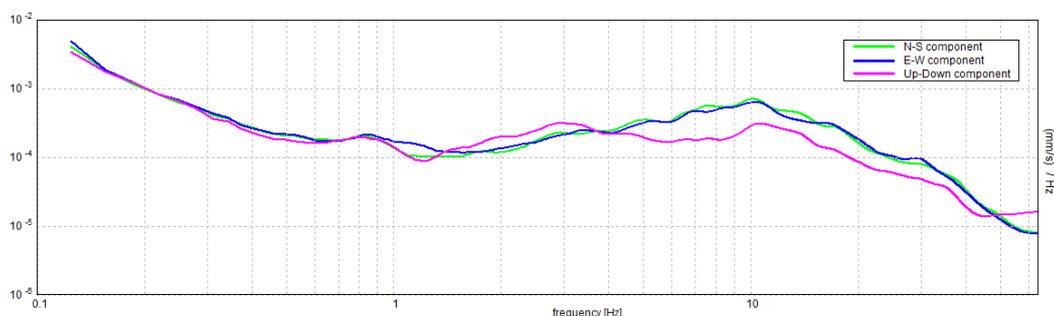


figura 1

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.

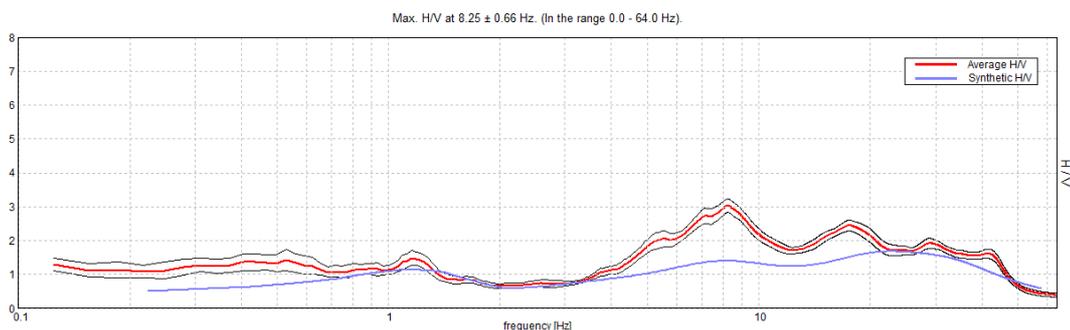


figura 2. Confronto tra la curva H/V sperimentale relativa al sito in oggetto (media in rosso e intervallo di confidenza al 95% in nero) e la curva H/V teorica ottenuta per il modello di sottosuolo di Tabella 1

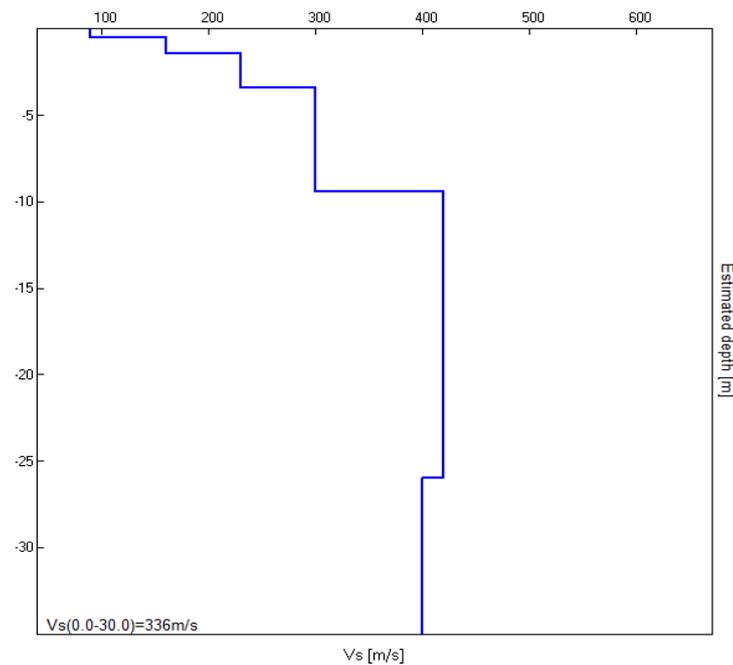


figura 3. Modello di velocità delle onde di taglio per il sito in oggetto.

Profondità	Spessore (m)	Vs (m/s)	Coefficiente di Poisson
0.50	0.50	90	0.35
1.40	0.90	160	0.35
3.40	2.00	230	0.35
9.40	6.00	300	0.35
26.00	16.60	420	0.25
76.00	50.00	400	0.45
inf.	0.00	620	0.45

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

E' stato quindi possibile stimare la $V_{s_{equ}}$, 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 $V_{s,eq}$, che in questo caso è definita dal parametro $V_{s,30}$, poiché il substrato sismico è ad una profondità maggiore di 30 metri, come esplicitamente richiesto dalle *Norme Tecniche per le Costruzioni*, D.M. 17/01/2018, nel caso specifico, in mancanza di progettazioni specifiche, è stata calcolata a partire dall'attuale piano di campagna, ottenendo:

$$V_{s0.0-30.0} = 336 \text{ m/s}$$

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 8.25 Hz soddisfa i criteri e va pertanto assunto come frequenza fondamentale di risonanza del sito.

Max. H/V at 8.25 ± 0.66 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).			
Criteria for a reliable HVSR curve (tutti e tre dovrebbero essere verificati)			
f0 > 10 / Lw	8.25 > 0.50	OK	
nc(f0) > 200	5115.0 > 200	OK	
sA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0 if f0 > 0.5Hz sA(f) < 3 for 0.5f0 < f < 2f0 if f0 < 0.5Hz	Exceeded 0 out of 397 times	OK	
Criteria for a cleare HVSR peak (almeno 5 su sei dovrebbero essere verificati)			
Exists f- in [f0/4, f0] AH/V(f-) < A0 / 2	4.625 Hz	OK	
Exists f+ in [f0, 4f0] A_H/V(f+) < A0 / 2	-1.0 Hz		NO
A0 > 2	3.03 > 2	OK	
fpeak[A_H/V(f) ± sA(f)] = f0 ± 5%	0.07998 < 0.05		NO
sf < e(f0)	0.65982 < 0.4125		NO
sA(f0) < q(f0)	0.1987 < 1.58	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Stazione Tr2

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

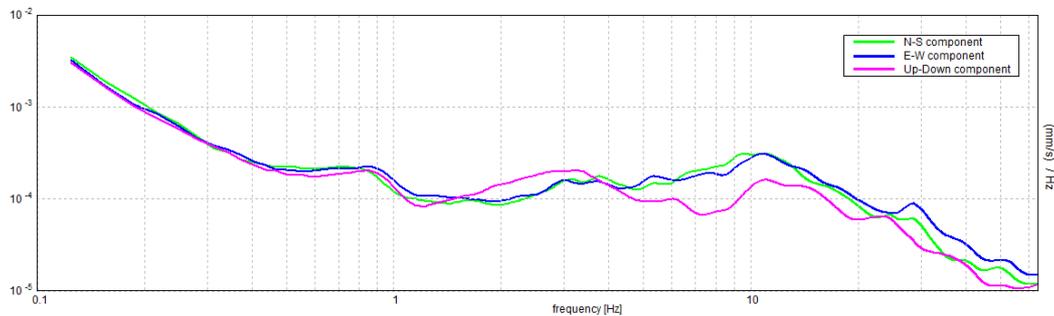


figura 1a

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

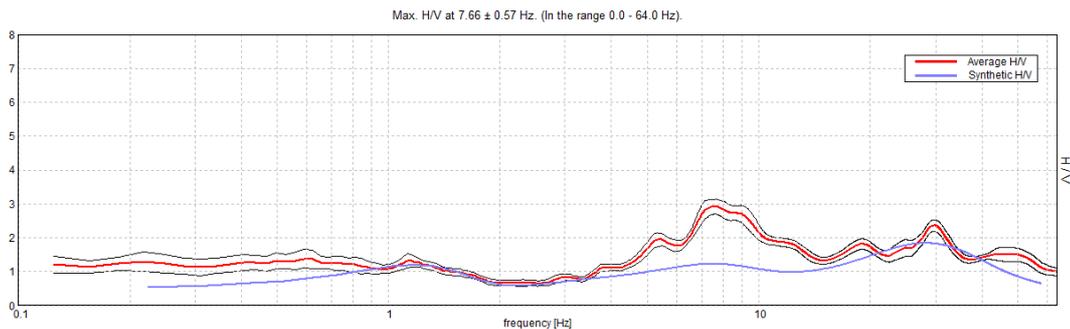


figura 2a. Confronto tra la curva H/V sperimentale relativa al sito in oggetto (media in rosso e intervallo di confidenza al 95% in nero) e la curva H/V teorica ottenuta per il modello di sottosuolo di Tabella 1

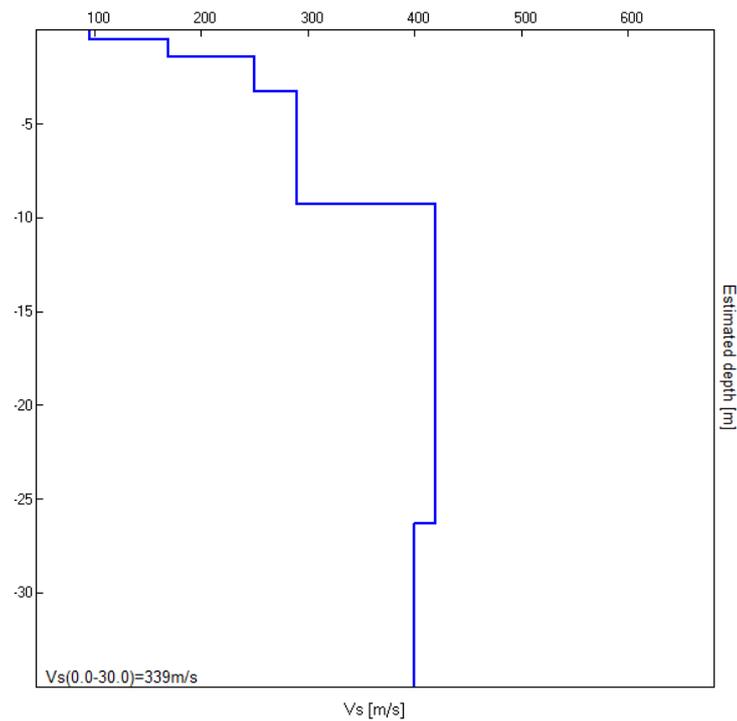


figura 3a. Modello di velocità delle onde di taglio per il sito in oggetto.

Profondità	Spessore (m)	Vs (m/s)	Coefficiente di Poisson
0.50	0.50	96	0.35
1.40	0.90	170	0.35
3.30	1.90	250	0.35
9.30	6.00	290	0.35
26.30	17.00	420	0.25
76.30	50.00	400	0.45
inf.	0.00	630	0.45

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

Per la prova Tr2 si ottiene, sempre a partire dall'attuale piano di campagna:

$$V_{sequ}(0.0-30.0) = 339 \text{ m/s}$$

Anche in questo i criteri Sesame risultano verificati per la frequenza fondamentale di 7.66 Hz.

Max. H/V at 7.66 ± 0.57 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).			
Criteria for a reliable HVSR curve (tutti e tre dovrebbero essere verificati)			
$f_0 > 10 / L_w$	7.66 > 0.50	OK	
$nc(f_0) > 200$	4746.9 > 200	OK	
$sA(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $sA(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 368 times	OK	
Criteria for a clear HVSR peak (almeno 5 su sei dovrebbero essere verificati)			
Exists f- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f-) < A_0 / 2$	4.781 Hz	OK	
Exists f+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f+) < A_0 / 2$	13.75 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.92 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.07394 < 0.05		NO
$sf < e(f_0)$	0.56607 < 0.38281		NO
$sA(f_0) < q(f_0)$	0.2214 < 1.58	OK	

Stazione Tr3

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

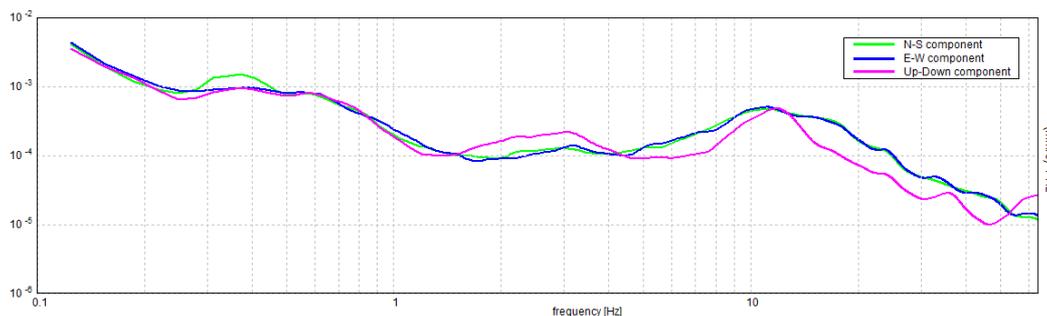


figura 1b

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

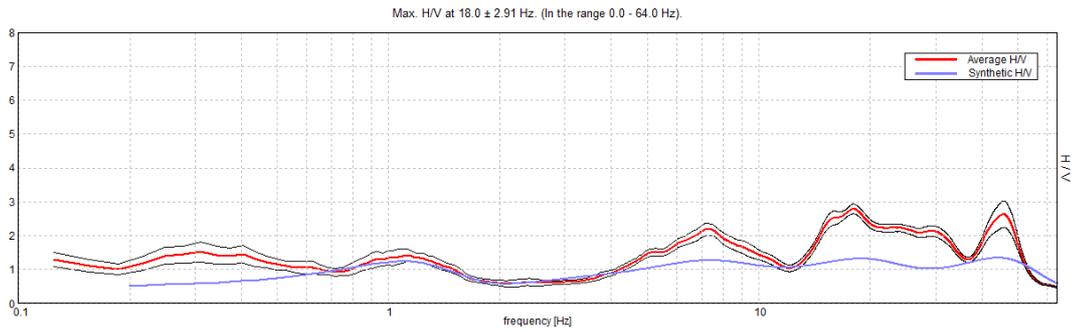


figura 2b. Confronto tra la curva H/V sperimentale relativa al sito in oggetto (media in rosso e intervallo di confidenza al 95% in nero) e la curva H/V teorica ottenuta per il modello di sottosuolo di Tabella 1

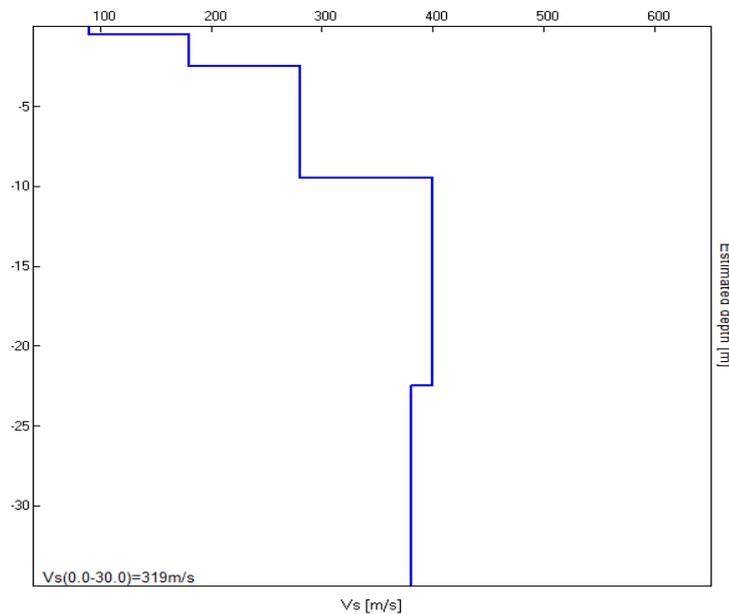


figura 3b. Modello di velocità delle onde di taglio per il sito in oggetto.

Profondità	Spessore (m)	Vs (m/s)	Coefficiente di Poisson
0.50	0.50	90	0.35
2.50	2.00	180	0.35
9.50	7.00	280	0.35
22.50	13.00	400	0.25
77.50	55.00	380	0.45
inf.	0.00	600	0.45

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

Nel caso specifico si ottiene, ottenendo:

$$V_{s_{equ}}(0.0-30.0) = 319 \text{ m/s}$$

Anche in questo i criteri Sesame risultano verificati per la frequenza fondamentale di 18.00 Hz.

Max. H/V at 18.0 ± 2.91 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).			
Criteria for a reliable HVSR curve (tutti e tre dovrebbero essere verificati)			
$f_0 > 10 / L_w$	18.00 > 0.50	OK	
$nc(f_0) > 200$	12240.0 > 200	OK	
$sA(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $sA(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 865 times	OK	
Criteria for a clear HVSR peak (almeno 5 su sei dovrebbero essere verificati)			
Exists f- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f-) < A_0 / 2$	13.5 Hz	OK	
Exists f+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f+) < A_0 / 2$	35.156 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.80 > 2	OK	
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.16139 < 0.05$		NO
$sf < e(f_0)$	2.90505 < 0.9		NO
$sA(f_0) < q(f_0)$	0.1457 < 1.58	OK	

Stazione Tr4

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

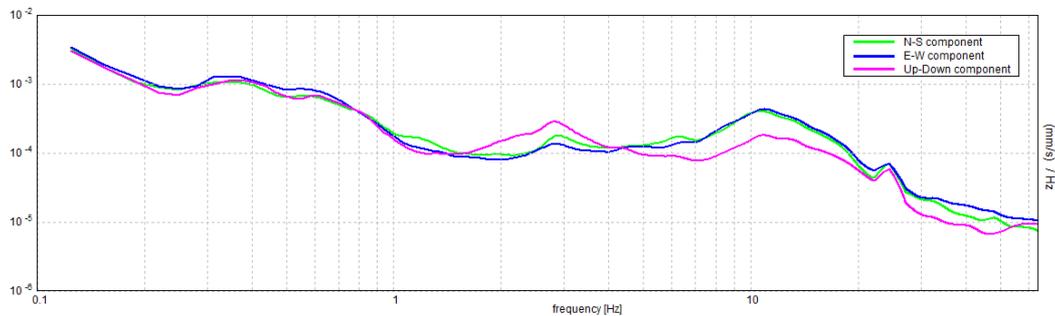


figura 1c

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

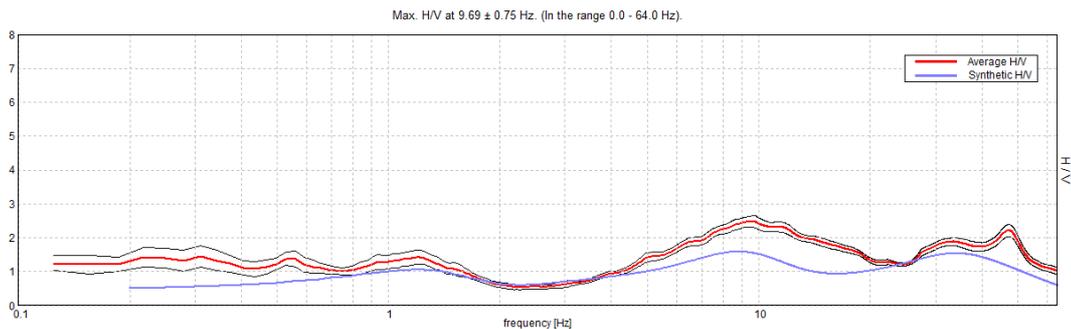


figura 2c. Confronto tra la curva H/V sperimentale relativa al sito in oggetto (media in rosso e intervallo di confidenza al 95% in nero) e la curva H/V teorica ottenuta per il modello di sottosuolo di Tabella 1

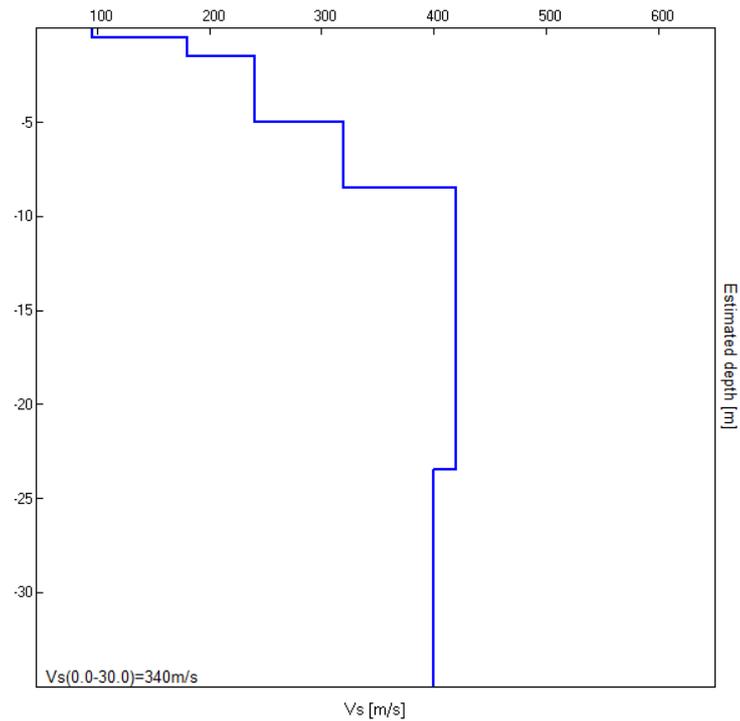


figura 3c. Modello di velocità delle onde di taglio per il sito in oggetto.

Profondità	Spessore (m)	Vs (m/s)	Coefficiente di Poisson
0.50	0.50	96	0.35
1.50	1.00	180	0.35
5.00	3.50	240	0.35
8.50	3.50	320	0.35
23.50	15.00	420	0.25
73.50	50.00	400	0.45
inf.	0.00	600	0.45

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

Per TR4 si ottiene:

$$V_{s_{equ}}(0.0-30.0) = 340 \text{ m/s}$$

Anche per la registrazione Tr4 i parametri Sesame risultano verificati per la frequenza 9.69.

Max. H/V at 9.69 ± 0.75 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).			
Criteria for a reliable HVSR curve (tutti e tre dovrebbero essere verificati)			
$f_0 > 10 / L_w$	9.69 > 0.50	OK	
$nc(f_0) > 200$	6200.0 > 200	OK	
$sA(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $sA(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 466 times	OK	
Criteria for a clear HVSR peak (almeno 5 su sei dovrebbero essere verificati)			
Exists f- in $[f_0/4, f_0] A_{H/V}(f-) < A_0 / 2$	4.719 Hz	OK	
Exists f+ in $[f_0, 4f_0] A_{H/V}(f+) < A_0 / 2$	23.281 Hz		NO
$A_0 > 2$	2.48 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.07703 < 0.05$		NO
$sf < e(f_0)$	0.74621 < 0.48438		NO
$sA(f_0) < q(f_0)$	0.1772 < 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, valori di $V_{s_{\text{equ}}}$ **compresi tra 319 e 340 m/sec**, pertanto alla luce dei risultati della sismica effettuata, nel caso il progettista delle future opere edili da realizzare all'interno del piano urbanistico volesse adottare la procedura semplificata, il suolo di fondazione in oggetto può essere assimilato, facendo riferimento alla normativa vigente (DM 17/01/18) ad una **"categoria di suolo di tipo "C"**, ovvero depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

Nella valutazione della categoria di suolo e nell'approccio alla progettazione strutturale delle future opere comprese all'interno del piano urbanistico, non vanno comunque trascurate le informazioni acquisite con l'indagine sismica circa la frequenza di risonanza del sito. Infatti nel caso specifico sono state individuate delle frequenze di risonanza, escludendo quelle maggiori di 10 Hz, ingegneristicamente non significative, **comprese tra 6 e 9 Hz comune a tutte**

le verticali associate a frequenze comprese tra 1.0 e 1.5 Hz, come si può notare dalla successiva *figura 4*, 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

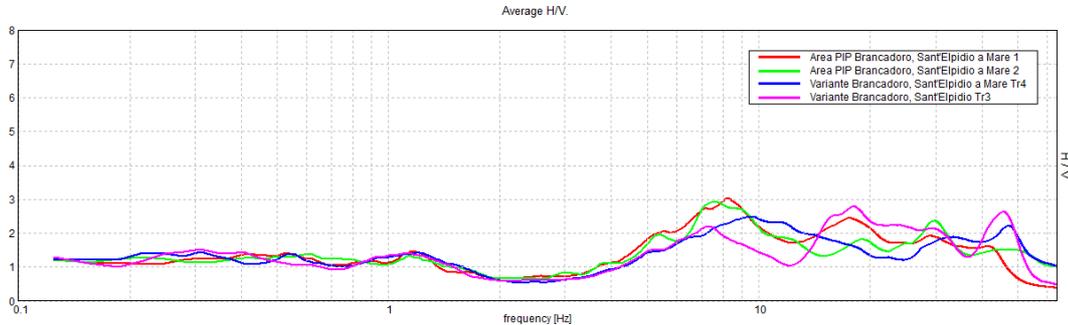


figura 4. Confronto tra la curva H/V sperimentale relativa al sito in oggetto delle sette stazioni Tr1 (rosso), Tr2 (verde), Tr3 (fucsia) e Tr4 (blu)

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. 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.

Porto Sant'Elpidio, 20 Dicembre 2018

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.

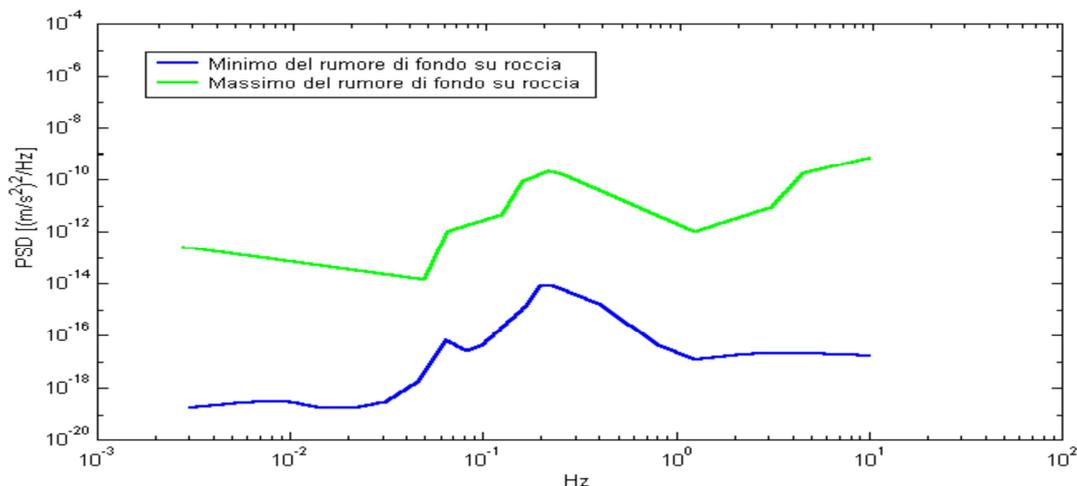


Figura 27. Modelli standard del rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra secondo il servizio geologico statunitense (USGS). Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del moto.

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 Cpt1



foto 2 - registrazione sismica passiva con Tromografo digitale -stazione Tr1



foto 3 - esecuzione prova penetrometrica Cpt2



foto 4 - registrazione sismica passiva con Tromografo digitale -stazione Tr2



foto 5 - limo argilloso sabbioso (unità litotecnica E2)



foto 6 - sabbia limosa (unità litotecnica E2)



foto 4 - registrazione sismica passiva con Tromografo digitale -stazione Tr3



foto 8 - ghiaia limoso-sabbiosa (unità litotecnica D2)