



PROGETTO DI VARIANTE AL PRG NELL'AREA EX ZUCCHERIFICIO RELATIVA AL  
COMPARTO EDIFICATORIO DI CUI ALLA SCHEDA ST3\_P06

## **STUDIO GEOLOGICO E DELLO SCENARIO DI RISCHIO ESONDAZIONE REVISIONE E AGGIORNAMENTO AL PROGETTO VARIANTE 2012**

### **ELABORATO 1**

### **RELAZIONE**

#### **INDICE**

	Pag. 1	
1	scopo e modalità dell'indagine	Pag. 2
2	normativa tecnica	Pag. 8
3	documenti di riferimento	Pag. 9
4	geologia e geomorfologia	Pag. 10
5	idrologia e idrogeologia	Pag. 12
6	indagini geologiche e geofisiche	pag. 14
7	schema geologico dell'area	Pag. 27
8	risposta sismica locale	Pag. 29
9	scenario di rischio esondazione del Fiume Metauro	Pag. 33
10	conclusioni	Pag. 46

#### **Allegati al testo**

Pag. 49

ALLEGATO 1	COROGRAFIA IGM 1:25.000
ALLEGATO 2	COROGRAFIA C.T.R. 1:10.000
ALLEGATO 3	CARTA GEOLOGICA 1:5.000
ALLEGATO 4	CARTA GEOMORFOLOGICA E DELLE PERICOLOSITA' GEOLOGICHE
ALLEGATO 5	CARTA IDROLOGICA E DELLA PERMEABILITA' 1:5.000
ALLEGATO 6	PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI 1:5.000
ALLEGATO 7	SEZIONI LITOSTRATIGRAFICHE
ALLEGATO 8	PROFILI STRATIGRAFICI - INDAGINI 2001/2004
ALLEGATO 9	GRAFICI E CERTIFICATI PROVE PENETROMETRICHE
ALLEGATO 10	RAPPORTO PROVE SISMICHE MASW
ALLEGATO 11	GRAFICI E TABULATI DI VERIFICA STUDIO ESONDAZIONE



## 1 - SCOPO E MODALITA' DELL'INDAGINE

Per le finalità previste dal D.P.R. 380/2001 art. 89 è stato predisposto lo *studio geologico e dello scenario di rischio esondazione* a corredo del progetto di Variante (qui definito PROGETTO VARIANTE 2012) al P.R.G. del Comune di Fano nell'area produttiva dell'ex. Zuccherificio relativa al comparto edificatorio di cui alla scheda ST3\_P06 in loc. Madonna Ponte.

Il D.P.R. 380/2001 all'art. 89 stabilisce infatti che prima della delibera di adozione della Variante il Comune deve richiedere apposito parere al competente ufficio tecnico regionale *ai fini della verifica della compatibilità delle rispettive previsioni di variante con le condizioni geomorfologiche del territorio.*

Lo studio, i cui esiti sono esposti nella seguente relazione, rappresenta la revisione e l'aggiornamento dello *studio geologico* già predisposto nel Novembre 2010 a corredo della precedente variante progettuale presentata in data 30 Luglio 2010.

L'attuale proposta di variante (PROGETTO VARIANTE 2012) è stata predisposta in revisione del progetto di variante del 30 Luglio 2010 a seguito delle osservazioni e dei contributi espressi nella fase di consultazione preliminare (scoping) della procedura di VAS contenute della Determinazione n. 3373 del 14.12.2010 della Provincia di Pesaro-Urbino.

In sintesi, riprendendo la relazione di progetto, la variante 2012 si caratterizza per le seguenti previsioni:

- consistente riduzione delle superfici utili (ca. 10.000 mq.) e delle superfici coperte;
- interruzione della continuità dei fronti mediante ampie demolizioni volumetriche;
- creazione e valorizzazione di ampi spazi pubblici e di aggregazione;
- studio ed individuazione di percorsi ciclo-pedonali;
- radicale revisione dell'assetto viario;
- potenziamento e redistribuzione delle aree verdi a terra;
- sistemazione delle coperture parte a verde e parte quale parco fotovoltaico;
- aumento e redistribuzione delle aree a parcheggio, con organizzazione ai vari livelli, pubblici, privati e di servizio;
- caratterizzazione del fabbricato destinato a tribunale come edificio autonomo da cielo a terra e ubicato in posizione centrale privilegiata;



- cessione dei due fabbricati ex colonici ubicati nel verde pubblico di via della Pineta;
- formazione di una piazza centrale polivalente che sostituisce la struttura polivalente.

Come si evince dalla relazione tecnica di progetto si prevede una nuova riformulazione della scheda del Comparto ST3\_P06 come evidenziato nella seguente figura 1a:

Fig. 1a – tabella Comparto ST3\_P06 come da relazione tecnica progetto variante 2012

Superficie comparto (mq)	SUL comparto (mq)	UT SUL/sup. comparto	ZONA	SUP zona omogenea (mq)	SUL zona omogenea (mq)
<b>234.680</b>	<b>53.500</b>	0,228	D4	114.375	51.500
			F5 (tribunale)	5.000	2.000
			F1* (vasche)	95.565	
			F1	15.260	
			P1	4280	

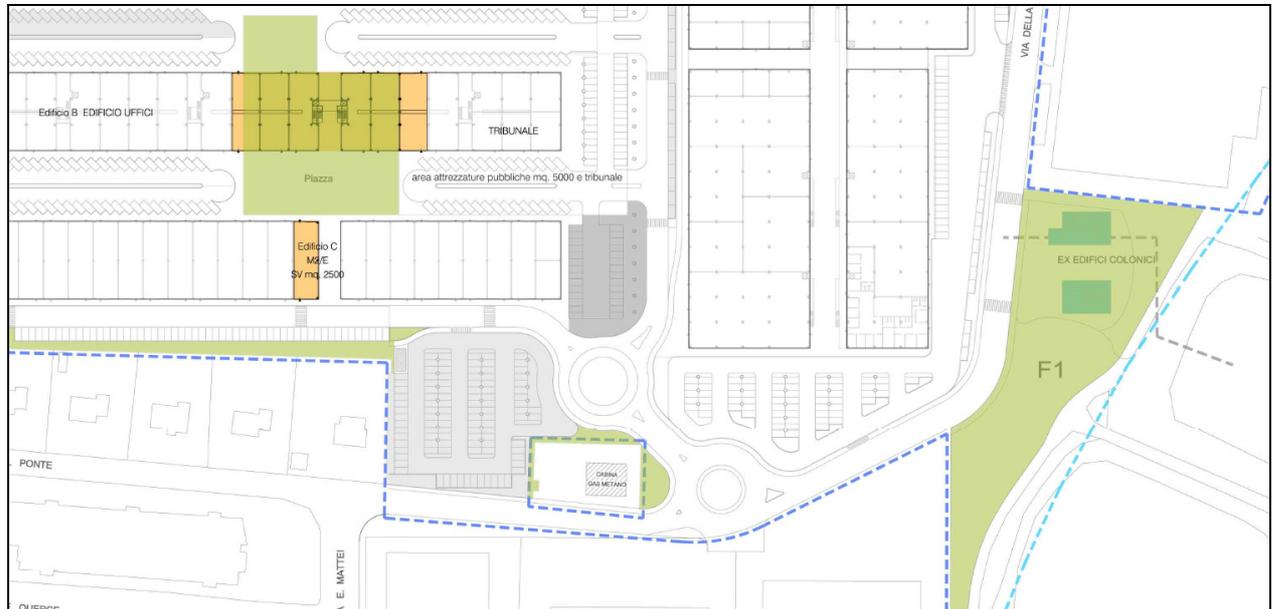
Allo stato attuale in comparto risulta sostanzialmente edificato anche se in parte solo al "rustico" (fig. 1b – lotto centrale); per la realizzazione di quanto previsto con la variante 2012 si prevede pertanto la demolizione di parti di strutture già realizzate per fare posto a spazi aperti e per rendere autonomo l'edificio adibito a tribunale previsto nell'area centrale del comparto.

Fig. 1b – Strutture già realizzate nell'area centrale del comparto



Dall'esame del progetto di variante 2012 e annessa relazione tecnica non risultano quindi nuove costruzioni in aggiunta alle sagome già realizzate; come già detto in precedenza è prevista la cessione al Comune dei 2 edifici ex colonici posti nell'area del verde pubblico di Via della Pineta (Fig. 1c).

Fig. 1c – gli ex edifici colonici da cedere



Unitamente allo studio geologico è stato eseguito uno studio idrologico per la ricostruzione indicativa dello scenario del rischio esondazione in risposta alle richieste avanzate in sede di VAS – fase di scoping e per un raffronto con la perimetrazione PAI.

Come già detto, tali studi aggiornano lo studio geologico già predisposto a corredo della variante 2010 e sono basati sulle indagini già eseguite nell'area a più riprese nel periodo 2001-2004-2010; ciò in considerazione del fatto che la variante 2012 non prevede nuove edificazioni rispetto a quelle già presenti e/o realizzate e che nel 2010 sono state eseguite specifiche indagini nell'area dei 2 ex edifici colonici da cedere al Comune.

Il programma delle indagini è dettagliatamente descritto al capitolo 6.

Lo studio idrologico per la definizione dello scenario di rischio esondazione è stato altresì predisposto per la verifica tecnica di cui all'art 9 delle Norme PAI che consentono, come previsto al punto K del medesimo articolo, la realizzazione, in aree esondabili, di spazi verdi, inclusa la realizzazione di aree per il tempo libero e lo sport, ad esclusione di aree destinate a campeggio, purché non comportino la realizzazione di nuove volumetrie a carattere permanente e non alterino il regolare deflusso delle acque. Considerato infatti che l'area di intervento rientra in ambito di esondazione PAI, limitatamente alla porzione destinata a verde e non edificata ovvero alla porzione occupata dalle



vasche dell'ex zuccherificio, è necessario, ai sensi della citata normativa PAI predisporre la verifica tecnica.

Lo studio è stato eseguito sulla base delle sezioni del Fiume Metauro della Regione Marche debitamente implementate con nuovi rilievi topografici che di fatto ne hanno ampliato la lunghezza; le sezioni rielaborate attengono a quelle più significative ovvero quelle prospicienti l'area di studio e sono state eseguite dallo studio tecnico del Geom. Rossignolo, come meglio descritto al capitolo specifico.

Lo studio si compone di 4 elaborati:

◆ **Elaborato 1 - Relazione con i seguenti allegati al testo:**

- **All. 1) Corografia I.G.M.:** viene inquadrata l'area di studio alla cartografia di rappresentazione IGM in scala 1:25.000;
- **All. 2) Corografia CTR:** viene inquadrata l'area di studio alla cartografia di rappresentazione CTR (Carta Tecnica Regionale) in scala 1:10.000;
- **All. 3) Carta Geologica:** alla scala 1:5.000 viene riportato l'inquadramento geologico dell'area redatto su base cartografica della carta numerica del Comune di Fano; vengono indicate, su base litostratigrafica, le principali formazioni geologiche presenti nell'area di intervento e nell'intorno significativo, con riferimento alle unità geologiche della copertura alluvionale;
- **All. 4) Carta Geomorfologica e delle pericolosità geologiche:** in scala 1:5.000 vengono riportati i lineamenti geomorfologici che caratterizzano l'area ed il suo intorno con specifico riferimento alle forme ed ai processi connessi con la dinamica territoriale, con l'azione delle acque superficiali e sotterranee, con l'attività antropica, nonché con le forme condizionate dalla struttura geologica dell'area; vengono altresì riportate le aree e/o gli elementi di pericolosità geologica in prospettiva sismica ed idrogeologica; sono cartografate le zone stabili suscettibili di amplificazione del moto sismico (fondovalle alluvionale) e le zone suscettibili di esondazione fluviale; riguardo alle zone suscettibili di esondazione fluviale viene proposta la



sovrapposizione cartografica fra le aree esondabili così come cartografate dal PAI e quelle derivanti dallo studio condotto sul tratto fluviale prospiciente il comparto con tempi di ritorno  $T_r$  200 anni;

- **All. 5) Carta della Permeabilità:** in scala 1:5.000 viene riportato il grado di permeabilità dei terreni con riferimento alla natura del sottosuolo;
  - **All. 6) Planimetria ubicazione indagini:** in scala 1:5.000 si riporta l'ubicazione delle indagini eseguite nei vari periodi sull'area;
  - **All. 7) Sezioni Litostratigrafiche:** il profilo litostratigrafico del sottosuolo viene ricostruito sulla base delle indagini eseguite e riportato lungo 3 sezioni alla scala 1:2000 (orizzontale) e 1:200 (verticale);
  - **All. 8) Profili stratigrafici:** l'allegato si compone dei profili stratigrafici del terreno riscontrato con le campagne di indagine del 2001-2004;
  - **All. 9) Grafici e certificati delle prove penetrometriche:** sono riportate le prove C.P.T. e D.P.S.H. eseguite dalla ditta INTERGEO nel 2010;
  - **All. 10) Rapporto prove simiche MASW:** l'elaborato riporta i risultati delle 2 prove sismiche M.A.S.W. eseguite nell'area nel 2010.
  - **All. 11) Grafici e tabulati di verifica studio esondazione.**
- 
- ◆ **Elaborato 2 - Planimetria traccia sezioni di verifica esondazione:** la tavola riporta alla scala 1:2000 la traccia delle sezioni numerate dalla 07-001 alla 07-008 della Regione Marche utilizzate per lo studio dello scenario di esondazione.
  - ◆ **Elaborato 3 - Sezioni di verifica esondazione:** vengono riportate alla scala 1:500/1:1.000 le sezioni fluviali del Fiume Metauro, alcune delle quali rielaborate (estensione della lunghezza delle singole tracce) dalla studio Rossignolo. Le sezioni rielaborate alla maggior lunghezza attengono a quelle numerate dalla 07-002 alla 07-005.



- ◆ **Elaborato 4 - Carta dello scenario di rischio esondazione:** con la tavola riprodotta alla scala 1:2.000 viene ricostruita la planimetria indicativa della possibile area esondabile, sagomata alla morfologia del terreno, così come dedotta dallo studio delle sezioni di cui alla tavola 3 interpolate con la morfologia circostante di cui al rilievo cartografico del Comune di Fano (rilievo 1:2.000); vengono anche riportati i limiti di esondazione come definiti dalla cartografia PAI al fine di poter confrontare gli ambiti di esondazione derivanti dallo studio con quelli perimetrati dallo stesso PAI; tenuto conto della morfologia delle aree circostanti vengono altresì riportate le linee di deflusso che hanno il significato di rappresentare indicativamente la possibile estensione delle aree esondabili oltre il perimetro ricostruito.



## 2. NORMATIVA TECNICA

- ◆ D.P.R. 380/01 e succ. integr. (Testo Unico per l'Edilizia)
- ◆ Decreto Ministeriale 14/01/2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni);
- ◆ Circ. LL.PP. n° 617 del 2/2/09 (Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 Gennaio 2008);
- ◆ Legge Regione Marche 33/84 (Norme per le costruzioni in zona) e Circ. 14/15/16
- ◆ N. A. del Piano Stralcio di Bacino per l'assetto idrogeologico dei bacini di rilievo regionale delle Marche approvato con delibera di Consiglio Regionale della Regione Marche n° 116 del 21/01/2004.



### 3. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- ◆ P.R.G. del Comune di Fano;
- ◆ P.T.C. della Provincia di Pesaro e Urbino;
- ◆ Carta Geologica d'Italia – scala 1: 100.000;
- ◆ Cartografia P.A.I. Regione Marche;
- ◆ “Studio per la determinazione delle risorse idriche nella bassa vallata del Fiume Metauro e nella fascia costiera ad est della foce”, (Geologi Vittorio Guerra e Paolo Sorcinelli - Aprile 1974 per conto del Comune di Fano).
- ◆ Studio Geologico del Progetto Preliminare Planivolumetrico della zona industriale di completamento di Ponte Metauro – ex zuccherificio – loc. Madonna Ponte (NUOVA GEOCON rif. 2001);
- ◆ “Risultati dell’indagine preliminare per l’analisi dello stato ambientale dell’ex zuccherificio di Fano”, redatto nel giugno 2004 dalla Ditta Multiproject Srl di Gorizia per conto della ditta Madonna Ponte Srl.
- ◆ Studio Geologico del Progetto di Variante parziale di PRG dell’area ex zuccherificio – loc. Madonna Ponte (GEOCON – rif. 186/2005; integrazione rif. 464/2006);
- ◆ Indagine ambientale sito ex zuccherificio – vasche di decantazione (SEA GRUPPO srl – Fano Luglio 2010).
- ◆ Valutazione Ambientale Strategica (VAS) – fase di scoping – rapporto preliminare del Progetto di Variante parziale di PRG dell’area ex zuccherificio – loc. Madonna Ponte (STUDIO ROMAGNA – Luglio 2010).



## 4. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

L'area di intervento è situata in sponda sinistra del *Fiume Metauro*, fra il tratto terminale del fiume stesso e il centro abitato di Fano, in località Madonna Ponte (ex zuccherificio), a quote topografiche variabili in generale da 8 – 10 metri s.l.m..

La geologia dei luoghi è caratterizzata dalla unità geologica della copertura continentale riferibile ai sedimenti alluvionali di fondovalle depositati dal Fiume Metauro; tali sedimenti, estendendosi parallelamente al corso fluviale abbracciano tutta la valle fino a ridosso delle colline che la bordano.

Tali sedimenti sono stati depositati in quattro momenti diversi e corrispondono a quattro ordini di terrazzi disposti a quote topografiche differenziate; in particolare l'area interessata dalla edificazione insiste sul terrazzo del III ordine (penultimo ad essere stato depositato); tale area si raccorda a Sud-Est e Nord-Est con i depositi ribassati del IV ordine e quindi con quelli delle alluvionali attuali e/o recenti che seguono l'andamento fluviale; si rimanda alla carta geologica allegata per la relativa rappresentazione cartografica.

La litologia di questi terreni è costituita, in linea di massima, da sabbie, ghiaie e limi argillosi e sabbiosi variamente intercalati fra loro; con riferimento alle indagini geologiche di campo eseguite a più riprese nell'area della lottizzazione produttiva, talora estese anche al suo intorno, il deposito alluvionale è caratterizzata da una certa eterogeneità litostratigrafica laterale.

A zone costituite dai sedimenti granulari più grossolani ghiaiosi e/o ghiaioso-sabbiosi, presenti fin dagli orizzonti di tetto del complesso alluvionale (porzione centro-occidentale dell'area - verticali di sondaggio S2/S3 anno 2001 e S2/S3 anno 2004) si riscontrano altre zone laddove tali sedimenti risultano sormontati da litotipi a grana fine, limoso-sabbiosi, presenti fino a circa 7.0 m di profondità dal p.c., come nel caso della verticale di sondaggio S1 del 2001; talora tali litotipi si rinvengono con spessori anche maggiori e dell'ordine di 11.50-11.80 m p.c. come nel caso delle verticali di sondaggio P1 e P2 (indagini 2004); il tutto è ben rappresentato nelle sezioni litostratigrafiche riprodotte in allegato 7.

Lo spessore dei depositi alluvionali in corrispondenza della zona di intervento è complessivamente oltre i 30 metri (dati bibliografici); tali sedimenti sono sostenuti dall'unità geologica del sub-strato geologico impermeabile del Pliocene; si tratta di argille marnose, stratificate, sovraconsolidate, talora fessurate, con intercalazioni di strati e/o livelli siltoso-sabbiosi.



Dal punto di vista geomorfologico le uniche forme riconoscibili sono quelle associate alla dinamica dei corsi d'acqua e più in generale a quelle riconducibili alla trasformazione antropica del territorio; le forme associate alla dinamica dei corsi d'acqua hanno di fatto determinato l'assetto sub-pianeggiato terrazzato della piana alluvionale del Fiume Metauro; tali forme, quali ad esempio le scarpate fluviali di raccordo fra i diversi ordini dei terrazzi, risultano localmente trasformate e/o rielaborate per effetto della attività antropica.

Fra le forme antropiche più evidenti della trasformazione territoriale è da segnalare la presenza dell'area interessata dalle vasche di sedimentazione dell'ex Zuccherificio al margine orientale della lottizzazione, laddove è prevista la destinazione a verde.



## 5. IDROGRAFIA E IDROGEOLOGIA

L'idrologia superficiale della zona è principalmente rappresentata del Fiume Metauro, che scorre immediatamente ad Est con direzione di deflusso SO-NE ad una distanza di circa 170 m; il Fiume Metauro è caratterizzato da un ambito di esondazione fluviale definito con grado di rischio R2-R4 nel tratto prospiciente l'area di intervento sulla base della cartografia del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico della Regione Marche (PAI); più dettagliatamente, tale ambito interessa con grado di rischio R2 la porzione di area delle vasche ex zuccherificio oggetto di recupero a verde; le aree di edificazione sono poste al di fuori di tale ambito di esondazione PAI; con specifico riguardo ai fabbricati colonici esistenti e oggetto di recupero funzionale con il progetto di variante, essi sono posti ad una distanza di circa 18.0 e 28.0 m dal perimetro dell'area esondabile con grado di rischio R2 così come cartografata dal PAI.

Oltre al Fiume Metauro si segnala la presenza del Fosso degli Uscenti, il quale scorre a circa 400 m di distanza; nell'intorno dell'area, sono altresì presenti solchi e scoline nel terreno agrario a completamento del sistema idrografico minore.

La struttura idrogeologica della bassa pianura alluvionale del Fiume Metauro, è caratterizzata da un'alternanza di terreni a variabile grado di permeabilità, con rapporti giaciturali estremamente variabili, posti a copertura del sub-strato geologico costituito da litotipi argilloso marnosi pressoché impermeabili.

Il complesso alluvionale è infatti costituito da terreni ad alta permeabilità quali ghiaie, ghiaie e sabbie, alternati a terreni fini meno permeabili quali i limi, i limi-sabbiosi e/o argillosi; i depositi appartenenti ai terrazzi più bassi, (terzo e quarto ordine), sono interessati dal vero acquifero di sub-alveo mentre quelli di primo e secondo ordine fungono per lo più da zone di alimentazione per la falda principale; questi ultimi presentano, generalmente, acquiferi isolati di modesto interesse idrico.

Il corpo alluvionale principale è sede di un acquifero che può definirsi monostrato, con la circolazione idrica che si sviluppa prevalentemente all'interno degli strati ghiaiosi e sabbiosi permeabili dando origine ad una falda idrica la cui soggiacenza, riferita alle letture piezometriche dell'anno 2004, sui piezometri strumentati all'interno dell'area di interesse, è risultata ad una profondità dell'ordine di 6 m dal p.c.; si tratta di una falda freatica stante l'assenza di orizzonti prettamente impermeabili che possano determinarne il confinamento.



L'asse di drenaggio principale dell'acquifero in questione coincide, grosso modo, con il Fiume Metauro; il fiume funge da elemento di drenaggio delle acque di falda, svolgendo, di conseguenza, una funzione limitata nell'ambito della alimentazione della falda stessa, quanto meno nel tratto terminale prossimo alla foce.

Dal punto di vista idropotabile, gli studi eseguiti a partire dagli anni 70 indicano nella zona acque piuttosto dure e di scarso interesse stante la limitata importanza esercitata dal Fiume Metauro nell'alimentazione della falda e la vicinanza alla linea di costa e quindi dello sbocco a mare della falda che favorisce l'ingressione di acqua salmastra. Già nel 1974, lo studio condotto dai geologi Guerra e Sorcinelli evidenziò, nella zone su cui è ubicata l'area di interesse, la presenza di acque salate o salmastre alla base della falda, dedotta sulla base di sondaggi geoelettrici (il substrato conduttore marcato dei sondaggi SEV è rappresentato dalla sommità della acque salmastre). Il suddetto studio giunse inoltre alla conclusione che "tutta la parte sinistra della vallata è caratterizzata da una cattiva-mediocre qualità delle acque, marcata dalla curva 8 ohm m che è da far risalire sia all'influenza delle acque provenienti dagli affioramenti miocenici in sponda sinistra, sia ad una scarsa permeabilità delle alluvioni, prevalentemente argilloso-sabbiose, esistenti ai margini della vallata e derivanti dagli affioramenti a suo tempo incisi dal fiume in sponda sinistra.....".



## 6. INDAGINI GEOLOGICHE E GEOFISICHE

Per le finalità dello studio si è fatto ricorso all'uso di indagini geognostiche effettuate a più riprese nell'area, ovvero quelle eseguite in precedenza nel 2001 nel 2004 e nel 2010 per la proposta di variante 2010 di fatto sostituita dal progetto VARIANTE 2012.

Le suddette indagini sono riprodotte nella planimetria dell'allegato 6 in calce alla relazione.

### 6A - INDAGINI ANTECEDENTI ALLA VARIANTE 2010

- **ANNO 2001:** sono stati eseguiti n° 4 sondaggi geognostici con carotiere a secco spinti fino ad una profondità variabile da 6 m (S2 e S3) a 10 m (S4) dal p. c.;
- **ANNO 2004:** sono stati eseguiti n° 6 sondaggi geognostici con carotiere a secco di cui 3 strumentati con piezometro per il monitoraggio della falda. La profondità dei sondaggi è variabile dai 10 m (S1, S2 e S3) ai 15 m (P1, P2 e P3) dal p. c.
- **ANNO 2010:** sono stati eseguiti a corredo della indagine ambientale sull'area delle vasche dell'ex zuccherificio, curata dalla soc. SEA GRUPPO srl, n° 7 sondaggi ambientali con carotiere 101 mm ad avanzamento a secco. I sondaggi hanno interessato una profondità mediamente variabile da 2.20 a 4.00 m p.c.; è stato altresì realizzato un piezometro spinto fino a 15 m di profondità dal p.c. per il monitoraggio e campionamento delle acque di falda.

### 6B. INDAGINI ESEGUITE PER LA VARIANTE 2010

Le indagini appositamente eseguite per la variante 2010 risultano essere:

- N° 1 prova penetrometrica statica tipo C.P.T.
- N° 1 prova penetrometrica dinamica pesante D.P.S.H.
- N° 2 prove sismiche M.A.S.W.

#### PROVA PENETROMETRICA STATICA

La prova penetrometrica statica eseguita è del tipo CPT (cone penetration test) utilizzando un penetrometro statico 200 KN a punta meccanica Begeman; è



stata posizionata all'interno dell'area destinata a verde ad Ovest del fabbricato colonico più piccolo, laddove si prevedeva l'insediamento della struttura polivalente (di fatto stralciata dalla proposta del 2012); è stata eseguita in data 15/11/2010 ad opera della soc. INTERGEO SRL; la prova si è arrestata alla profondità di rifiuto a circa 3.60 m di profondità dal p.c. I grafici di prova sono riportati nell'elaborato 9 allegato alla relazione. Si riportano di seguito:

- Fig. 6a - il grafico dell'andamento della resistenza statica all'avanzamento della punta  $Q_c$  espresso in Kg/cm<sup>2</sup> lungo la verticale di prova.
- Fig. 6b - il grafico della classificazione litologica dei terreni lungo la verticale di prova sulla base delle correlazioni di Searle 79 e Racc. AGI 77, in funzione del rapporto fra la resistenza statica alla punta e la resistenza specifica laterale, ovvero  $Q_c/F_s$ .
- Fig. 6c - il grafico per la interpretazione della prova CPT / S1 sulla base della correlazione di Searle 79.
- Fig. 6d - le principali correlazioni per l'interpretazione delle prove penetrometriche.



Fig. 6a - Prova statica (CPT) S1- Andamento della resistenza alla punta

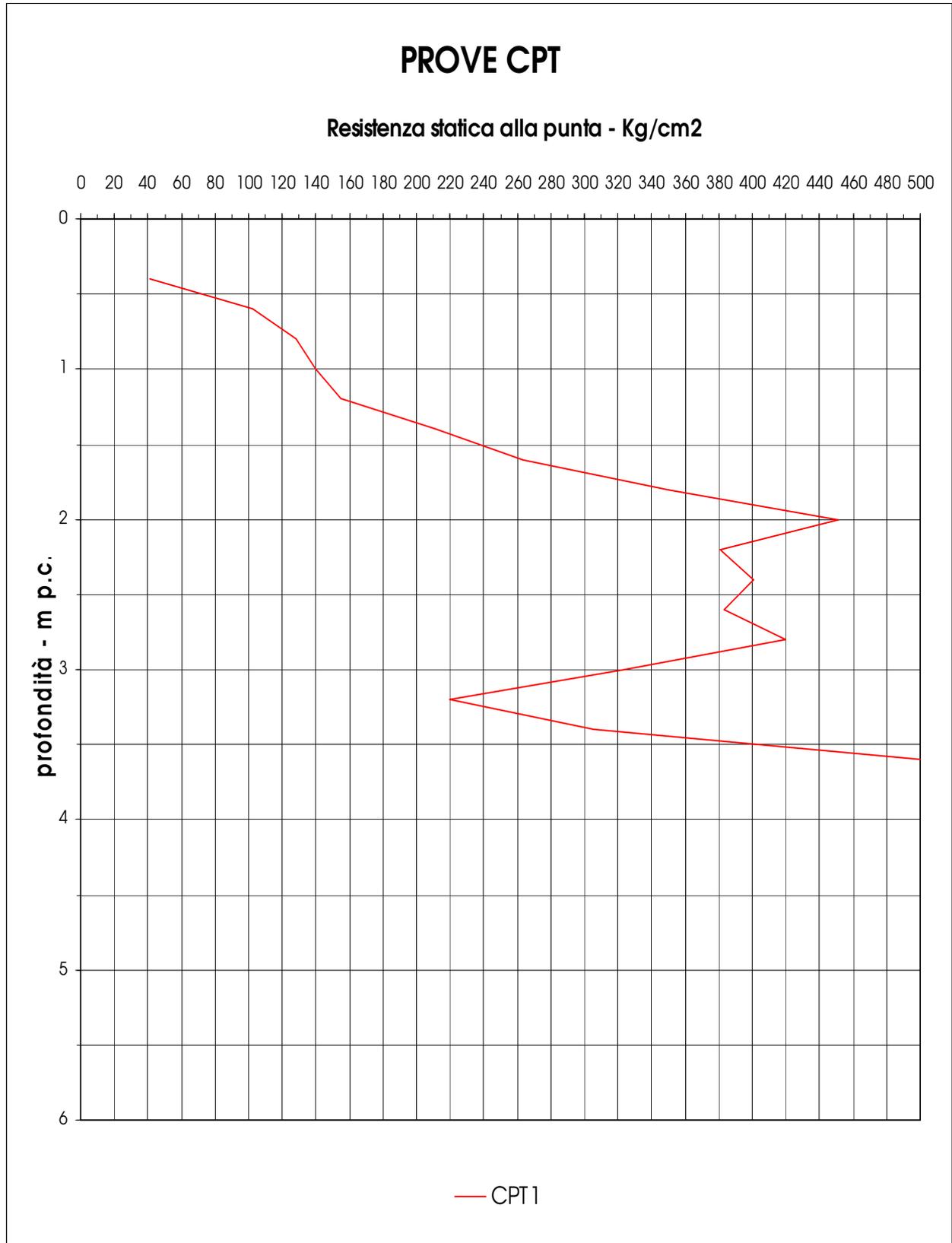




Fig. 6b - Prova statica (CPT) S1- classificazione litologica

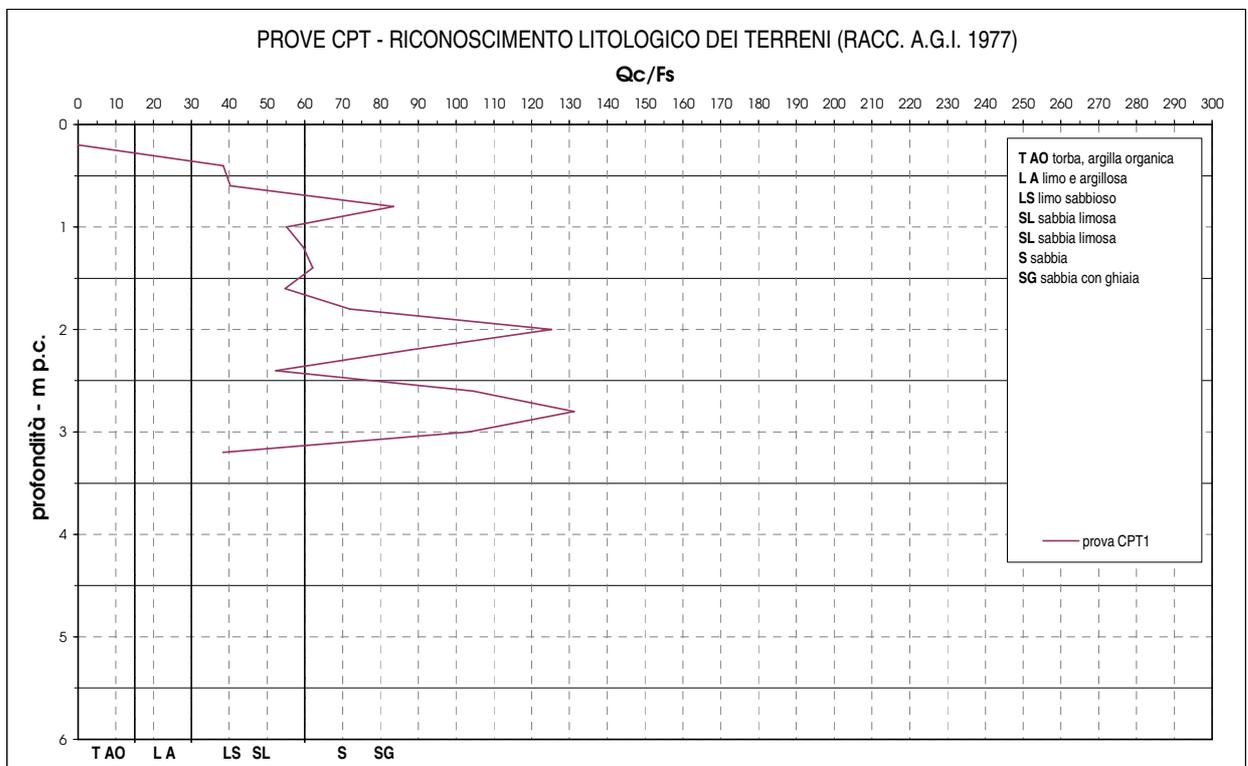
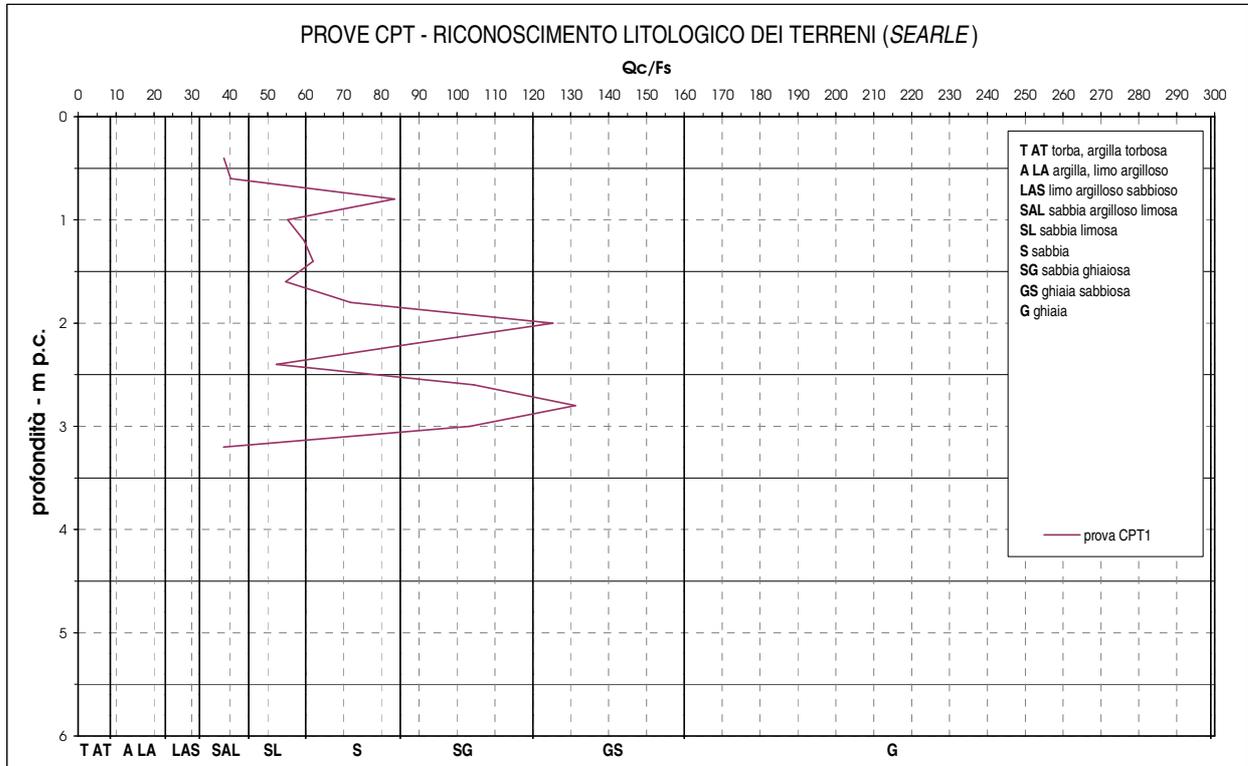
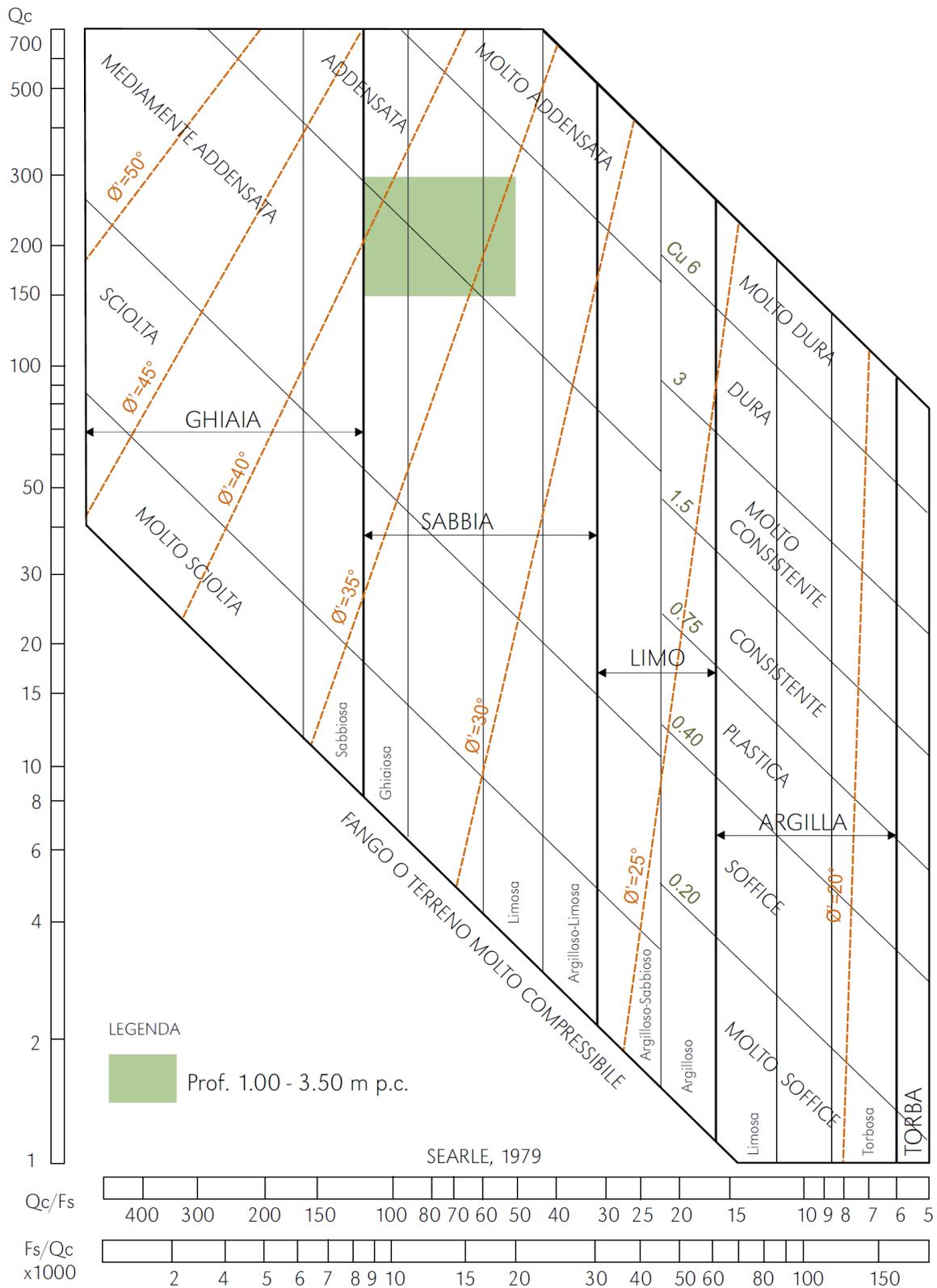




Fig. 6c - Interpretazione della prova CPT - S1 (Searle, 79)



LEGENDA  
 Prof. 1.00 - 3.50 m p.c.

SEARLE, 1979

PROVA CPT - S1	COMMESSA 464/2006
----------------	-------------------



Fig. 6d - Principali correlazioni di interpretazione delle prove penetrometriche

N.	PARAMETRO	AUTORE	CORRELAZIONE	
0	Interpretazione litologica	Racc. AGI, 1977 Searle, 1979 Schmertmann, 1978 Begeman, 1965	Correlazioni dedotte dal rapporto fra la resistenza statica alla punta e la resistenza di attrito laterale.	
1	Coesione non drenata (Cu)	Racc. AGI 1977 Ricceri et Al 1974 Marsland et Al. 1974/79	$Cu = Qc/A$	A = 15-25 (AGI 77) A = 30 per Argille S.C. A = 20 per Argille N.C.
2	Coesione non drenata (Cu)	Mayne - Kemper 1988	$Cu = Qc - Pvo / A$	A = 20 (punta meccanica) 15 (punta elettrica)
3	Coesione non drenata (Cu)	Levadoux & Baligh 1980	$Cu = Qc - Pvo / A$	A = 14 per argille tenere A = 17 +/- 5 per argille sovra consolidate A = 10-30 per argille fessurate
4	Coesione non drenata (Cu)	Stroud 1974	$Cu = F Nspt$	F = 3.5-6.5 KPa (valore medio 4.4)
5	Coesione non drenata (Cu)	Terzaghi-Peck	$Cu = 0.067 Nspt$	Per argille di media plasticità (Kg/cm2)
6	Coesione non drenata (Cu)	Shioi-Fukui 1982	$Cu = 0.025 Nspt$ $Cu = 0.05 Nspt$	per argille di media plasticità (Kg/cm2) per argille di alta plasticità (Kg/cm2)
7	Coesione non drenata (Cu)	Searle 1979	Grafico	
8	Modulo Edometrico (E)	Mitchell-Gardner 1975	$E = BxQc$	B = 1-2.5 per Argille CL con $Qc > 2$ MPa B = 2-5 per Argille CL con $Qc = 0.7-2$ MPa B = 3-8 per Argille CL con $Qc < 0.7$ MPa B = 2-6 per Argille e limi CH con $Qc < 2$ MPa B = 1-3 per Limi ML con $Qc < 2$ MPa B = 3-6 per Limi ML con $Qc > 2$ MPa
9	Modulo Edometrico (E)	Mayne et Al. 1980	$E = 8.25 x (Qc - Pvo)$	
10	Modulo Edometrico (E)	Stroud - Butler 1975	$E = 5 Nspt$ $E = 6 Nspt$	per argille di media plasticità (Kg/cm2) per argille di bassa plasticità (Kg/cm2)
11	Angolo attrito efficace ( $\Phi'$ )	Searle 1979	Grafico	
12	Rapporto $Qc / Nspt$	Robertson et Al. 1983	$Qc/Nspt$	$Qc/Nspt = 1-2$ per Argille e Argille Limose $Qc/Nspt = 2-3$ per Limi argillosi, Limi sabbiosi $Qc/Nspt = 3-4$ per Sabbie limose $Qc/Nspt = 4-5$ per Sabbie fini e medio fini $Qc/Nspt = 5-8$ per Sabbie medie e grossolane
13	Angolo attrito efficace ( $\Phi'$ )	Peck-Hanson-Thorburn, 74	( $\Phi'$ )	$\Phi' < 25^\circ$ per $Nspt < 4$ (sabbia molto sciolta) $\Phi' = 25-30^\circ$ per $Nspt 4-10$ (sabbia sciolta) $\Phi' = 30-36^\circ$ per $Nspt 10-30$ (sabbia media) $\Phi' = 36-41^\circ$ per $Nspt 30-50$ (sabbia densa) $\Phi' > 41^\circ$ per $Nspt > 50$ (sabbia molto densa)
14	Angolo attrito efficace ( $\Phi'$ )	Schmertmann 1977	$\Phi' = 28+0.14 Dr$ $\Phi' = 34+0.10 Dr$ $\Phi' = 38+0.08 Dr$	Per sabbie fini uniformi Per sabbie medie e grossolane Per sabbie e ghiaie, ghiaietto
15	Angolo attrito efficace ( $\Phi'$ )	Road Bridge Specification	$\Phi' = (15xNspt)^{0.5} + 15$	
16	Angolo attrito efficace ( $\Phi'$ )	Peck 1953	$\Phi' = 0.3 x Nspt + 20$	
17	Angolo attrito efficace ( $\Phi'$ )	Sowers 1961	$\Phi' = 28 + 0.28 Nspt$	Per sabbie prof. ottimale < 4.0 m terreni sopra falda Per sabbie prof. ottimale < 7.0 m terreni in falda
18	Angolo attrito efficace ( $\Phi'$ )	Owasaki & Iwasaki	$\Phi' = (20xNspt)^{0.5} + 15$	Per sabbie medie e grossolane (ghiaiose)
19	Angolo attrito efficace ( $\Phi'$ )	De Beer (1965/1967)	$\Phi' = 5.9 + 4.76 x \ln(Qc/P'vo)$	
20	Modulo Deformazione (E)	Trofimenkov 1974 Mitchell-Gardner 1975	$E = BxQc$ $E = BxQc$	B = 3.5 per sabbie B = 1.5-3.0 per sabbie
21	Modulo Deformazione (E)	Farrent 1963	$E = 7.1 Nspt$	Per sabbie (Kg/cm2)
22	Modulo Deformazione (E)	Menzebach & Malcev	$E = CxNspt + 38$	C = 3.54 (sabbie fini) 4.46 (sabbie medie) C = 10.46 (sabbie e ghiaie) 11.84 (sabbia ghiaiosa)
23	Densità Relativa (Dr)	Terzaghi-Peck 1948 Gibbs-Holtz 1957	Dr %	$Nspt = 0-4$ Dr = 0-15% Sabbia molto sciolta $Nspt = 4-10$ Dr = 15-35% Sabbia sciolta $Nspt = 10-30$ Dr = 35-65% Sabbia media $Nspt = 30-50$ Dr = 65-85% Sabbia densa $Nspt > 50$ Dr = 85-100% Sabbia molto densa
24	Densità Relativa (Dr)	Harman	$Dr = 34.36 x \ln(Qc/12.3xP'vo^{0.7})$	Per sabbie
			$Qc$ = resistenza statica alla punta (prova penetrometrica statico)	$Nspt$ = numero colpi / 30 cm della prova SPT
			$P'vo$ = pressione litostatica efficace	$Pvo$ = pressione litostatica totale
			$Pa$ = pressione atmosferica	



## PROVA PENETROMETRICA DINAMICA D.P.S.H.

La prova penetrometrica eseguita è del tipo D.P.S.H. utilizzando un penetrometro statico/dinamico 200 KN a punta meccanica Begeman; è stata posizionata all'interno dell'area destinata a verde, a ridosso del fabbricato colonico più grande, laddove la proposta di variante 2010 prevedeva l'inserimento della struttura polivalente; è stata eseguita in data 15/11/2010 ad opera della soc. INTERGEO SRL; la prova si è spinta fino a circa 10.20 m di profondità dal p.c. I grafici di prova sono riportati nell'elaborato 9 allegato alla relazione. Le caratteristiche del penetrometro utilizzato sono di seguito riportate:

### Penetrometro dinamico pesante tipo "Emilia" :

- Peso maglio: 63.50 Kg
- Caduta maglio: 75 cm
- Sezione punta: 20 cm<sup>2</sup>
- Peso aste: 6.20 Kg/ml
- Avanzamento N20 20 cm

La prova è stata condotta con avanzamento N20; l'interpretazione della prova consente di ricavare il parametro NSPT ovvero il numero di colpi dello *Standard Penetration Test* adottando uno specifico coefficiente di correlazione che, in ragione delle caratteristiche del penetrometro, assume un valore pari a  $N_{SPT} = 1.489_{DPSH}$  e quindi di dedurre, sulla base delle principali correlazioni reperibili in letteratura le principali proprietà fisico-meccaniche del terreno.

Si riportano di seguito:

- Fig. 6e - l'andamento dei valori N20 comparati ai valori NSPT;
- Fig. 6f - il grafico dell'andamento NSPT.

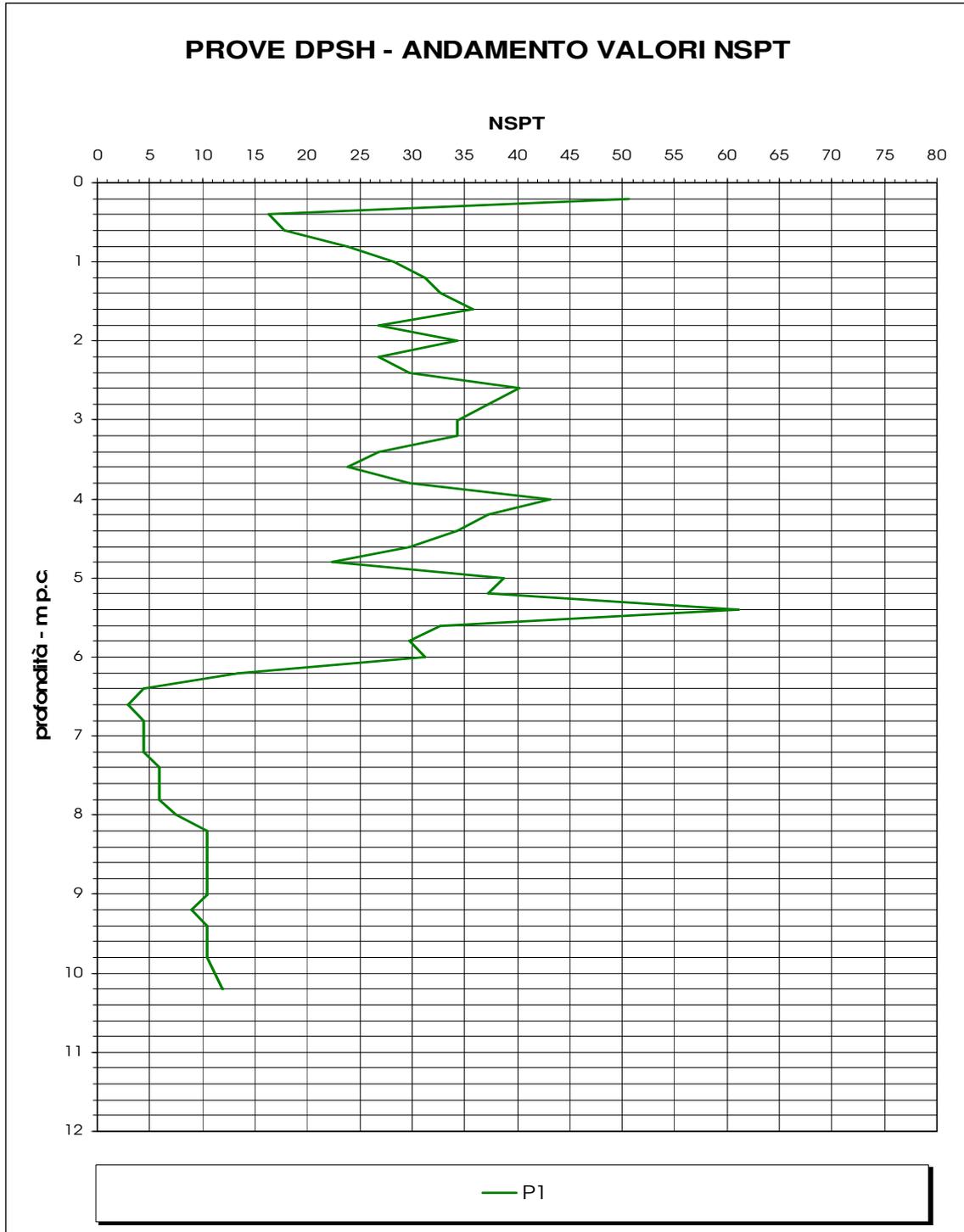


Fig. 6e - Prova penetrometrica DPSH - P1 / valori N20 e Nspt

PROF (m)	N20	NSPT
0,2	34	51
0,4	11	16
0,6	12	18
0,8	16	24
1	19	28
1,2	21	31
1,4	22	33
1,6	24	36
1,8	18	27
2	23	34
2,2	18	27
2,4	20	30
2,6	27	40
2,8	25	37
3	23	34
3,2	23	34
3,4	18	27
3,6	16	24
3,8	20	30
4	29	43
4,2	25	37
4,4	23	34
4,6	20	30
4,8	15	22
5	26	39
5,2	25	37
5,4	41	61
5,6	22	33
5,8	20	30
6	21	31
6,2	9	13
6,4	3	4
6,6	2	3
6,8	3	4
7	3	4
7,2	3	4
7,4	4	6
7,6	4	6
7,8	4	6
8	5	7
8,2	7	10
8,4	7	10
8,6	7	10
8,8	7	10
9	7	10
9,2	6	9
9,4	7	10
9,6	7	10
9,8	7	10
10	8	12
10,2	8	12



Fig. 6f - Prova penetrometrica DPSH - P1 / grafico dei valori N<sub>spt</sub>





Dagli esiti delle prove si possono fare le seguenti considerazioni:

- al di sotto dello strato vegetale superficiale si rinvengono, a partire da 1.0 m circa rispetto al p.c. attuale, i terreni resistenti e addensati sabbioso-ghiaiosi del deposito alluvionale; tali terreni sono caratterizzati da uno spessore di almeno 2.50 m in corrispondenza della verticale CPT (oltre tale profondità si è arrestata la prova per valori di rifiuto all'avanzamento) e di circa 5.0 m in corrispondenza della verticale D.P.S.H; oltre tale profondità la resistenza dinamica all'avanzamento indica la presenza di terreni meno resistenti e riferibili alla frazione più fine del deposito (limi, limi sabbiosi e/o argillosi) che si rinvengono fino ad oltre 10 m di profondità.

## PROVE SISMICHE MASW

Per le finalità previste dalla nuova normativa sismica e fornire indicazioni relative alla classificazione del sottosuolo sono state eseguite n° 2 prove sismiche MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) con stendimenti ubicati come da planimetria allegata; la metodologia di prova consente di ricavare la velocità delle onde di Taglio Vs mediante la misura della velocità di propagazione delle onde superficiali di *Rayleigh* in corrispondenza di geofoni posti sulla superficie del terreno lungo uno stendimento. Il metodo utilizzato è quello *attivo* ovvero con misura delle onde generate in un punto della superficie del suolo. E' stato utilizzato uno stendimento lineare di 46 m utilizzando 24 geofoni a 4.5 Hz equidistanti 2.0 m. Le prove sono state eseguite nel Novembre 2010 all'interno dell'area di lottizzazione come da planimetria allegata. Nelle figure che seguono si riporta l'ubicazione e il profilo di velocità delle Vs fino a 30 m di profondità. L'elaborato completo è riprodotto nell'elaborato 10.

Nelle figure seguenti si riportano la rappresentazione fotografica e i profili di velocità delle onde sismiche Vs.



Fig. 6g - Prova MASW 1 - ubicazione (area struttura polivalente)



Fig. 6h - Prova MASW 1 - profilo di velocità Vs

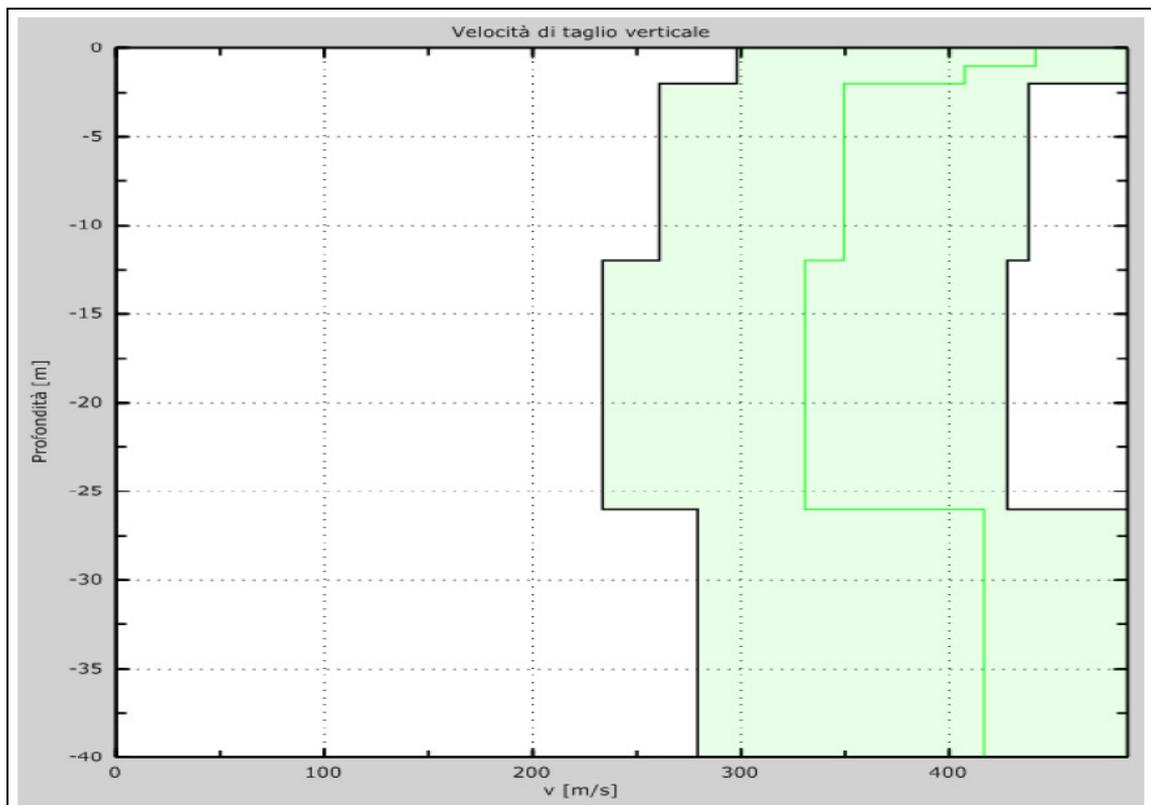
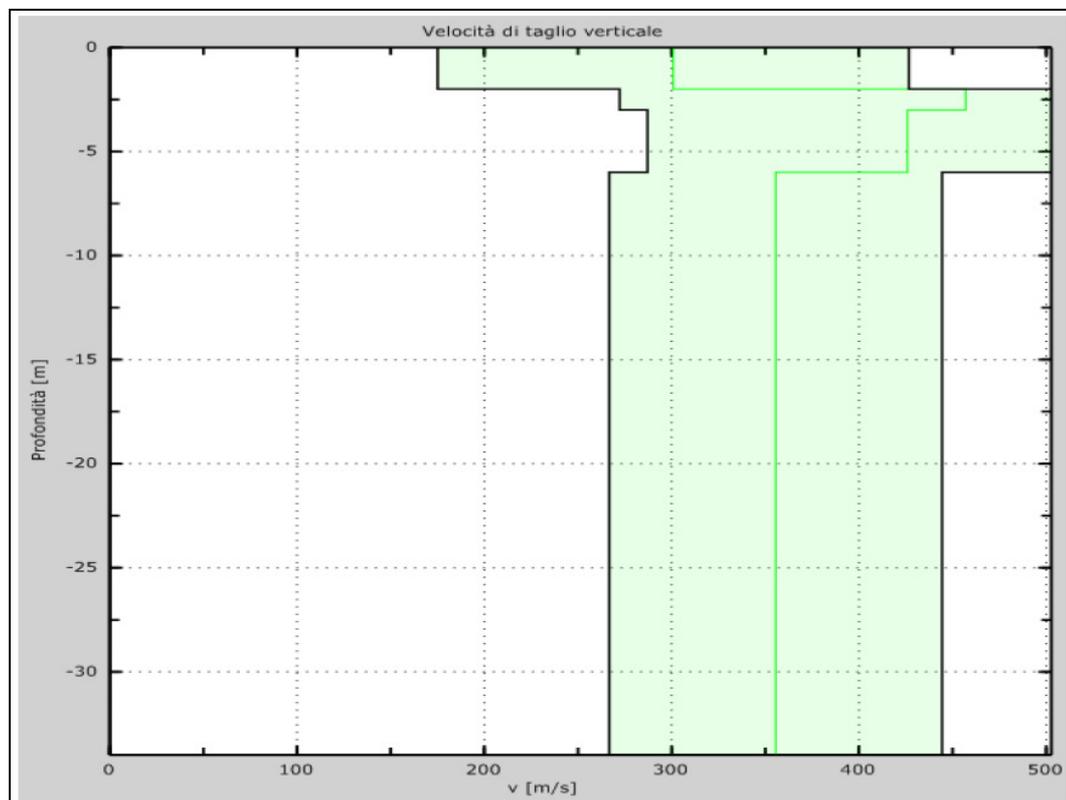


Fig. 6i – Prova MASW 2 – ubicazione



Fig. 6l – Prova MASW 2 – profilo di velocità Vs





L'andamento delle onde sismiche di taglio  $V_s$  in profondità, associato alle diverse litologie presenti nel sottosuolo, consente le seguenti considerazioni:

- i profili  $V_s$  rappresentano inversioni di velocità e contrasti di impedenza particolarmente evidenti nei primi 10 m di profondità in corrispondenza della prova MASW 2 ed estesi fino a circa 25 m di profondità in corrispondenza della MASW 1; tali contrasti sono associabili a possibili fenomeni amplificativi delle onde sismiche;
- il valore  $V_{s30}$  della velocità equivalente delle onde di taglio fino a 30 m di profondità è risultato piuttosto omogeneo fra le 2 prove e pari a **351-358 m/sec**.



## 7. SCHEMA GEOLOGICO DELL'AREA

Sulla base delle indagini disponibili sono state ricostruite le sezioni geologiche denominate con le sigle A-A' / B-B' / C-C' ed esposte nell'allegato 7.

Sulla base delle suddette sezioni il modello geologico del sottosuolo alluvionale può essere schematizzato mediante l'associazione litostratigrafica di tre litotipi, più precisamente:

- Litotipo 1                      coltre di riporto superficiale e/o terreno vegetale
- Litotipo 2                      sedimenti ghiaiosi e sabbioso-ghiaiosi
- Litotipo 3                      sedimenti limosi, limoso, sabbiosi e/o argillosi

### Litotipo 1

Si tratta dello strato più superficiale rinvenuto nelle perforazioni di sondaggio fino a profondità di circa 0.50-1.30 m è caratterizzato da riporto antropico e/o terreno vegetale.

### Litotipo 2

Il sedimento ghiaioso e/o sabbioso ghiaioso che caratterizza la frazione più grossolana del deposito alluvionale si rinviene nell'area di interesse a quote piuttosto eterogenee e tali da determinare solo una parziale continuità laterale dell'orizzonte ghiaioso; nella porzione centro-occidentale dell'area tali sedimenti si rinvergono fin dagli strati più superficiali come nelle perforazioni di sondaggio S2 e S3 del 2001 (prof. di rinvenimento a 1.80-0.90 m p.c.) e nelle perforazioni di sondaggio S2 e S3 del 2004 (prof. di rinvenimento a 0.50 m p.c.; nelle restanti porzioni di area tali sedimenti si rinvergono a profondità variabili da 6.0 m p.c. (S1 del 2001) a 11.50-11.80 m p.c. come nel caso delle verticali di sondaggio P1 e P2 del 2004; con riferimento alle verticali di prova CPT e DPSH eseguite nell'area di costruzione della struttura polivalente il sedimento si rinviene fin dagli strati più superficiali al di sotto dello strato vegetale; caratterizza il sottosuolo fino a circa 6.0 m di profondità rispetto al p.c. attuale in corrispondenza della prova D.P.S.H. e quanto meno fino a 3.5 m p.c. in corrispondenza della verticale C.P.T.; dagli esiti delle prove CPT e DPSH il sedimento sabbioso-ghiaioso risulta mediamente addensato e addensato con valori  $N_{spt}$  correlati al valore  $N_{20}$  generalmente compresi  $N_{spt} = 20-50$ ; tali dati trovano analoghi riscontri nella verticale di prova C.P.T. dalla quale, sulla base



delle correlazioni di *Searle* (1979) tali sedimenti risultano sabbiosi e sabbioso-ghiaioso da mediamente addensati ad addensati.

### **Litotipo 3**

Il litotipo 3 è caratterizzato dalla porzione più fine del deposito alluvionale che si intercala, talora con una certa continuità laterale, talora in forma lenticolare, al sedimento ghiaioso e sabbioso-ghiaioso del litotipo 2; è rappresentato da limi, limi sabbiosi e/o argillosi che si riscontrano talora con spessori ragguardevoli, come nel caso delle perforazioni di sondaggio P1 e P2 del 2004 laddove si susseguono dal p.c. attuale fino a circa 11.50-11.80 m di profondità; altrove gli spessori risultano inferiori attestandosi su valori dell'ordine di 5.0-6.0 m; con riferimento alla verticale di prova DPSH (P1) nell'area "verde" dove sono ubicati i fabbricati colonici, tali sedimenti si rinvengono a partire dalla profondità di 6.00 m circa dal p.c. attuale, susseguendosi poi fino ad oltre i 10.0 m; risultano caratterizzati da valori  $N_{spt}$  correlati ai valori  $n_{20}$  dell'ordine di  $N_{spt} = 4-10$  tipicamente associabili a terreni sciolti.



## 8. RISPOSTA SISMICA LOCALE

### 8A. PERICOLOSITA' GEOLOGICA - EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE DEL MOTO SISMICO

L'analisi geologica dell'area di intervento e del suo intorno significativo consente di esprimere alcune considerazioni sulla risposta sismica locale (effetti di amplificazione) in termini di riduzione e prevenzione dal rischio sismico.

A tal fine è stata redatta la carta della pericolosità geologica, riprodotta nell'allegato 4 sulla base dei rilievi e delle indagini svolte con l'ausilio dei dati disponibili dalla bibliografia e dalla cartografia pubblicata.

La carta individua i principali fattori geologici che possono produrre fenomeni di amplificazione sismica locale, ovvero, la modifica dell'input sismico per effetto di specifiche condizioni litostratigrafiche e morfologiche del sito.

In particolare sono state cartografate: le aree di fondovalle afferenti al deposito alluvionale che caratterizza l'area di intervento; i terreni caratterizzati da ghiaie, sabbie e ghiaie, intercalate a depositi fini limosi, limoso-sabbiosi, talora sciolti, come riscontrato nella prova DPSH (P1) sono suscettibili di fenomeni di amplificazione del moto sismico per effetto dell'assetto litostratigrafico e morfologico locale. Sussistono quindi condizioni morfostratigrafiche locali per effetto delle quali è ragionevole attendersi fenomeni di amplificazione delle onde sismiche.

### 8B. AZIONI SISMICHE

Con la nuova normativa sismica riferibile al D.M. 14/01/2008 il territorio Nazionale è stato suddiviso in quattro zone ciascuna delle quali contrassegnata da un diverso valore di accelerazione sismica massima orizzontale ( $a_g$ ) riferita a suolo rigido con valori di velocità delle onde di taglio  $V_{s30} \geq 800$  m/sec. come esposto nella sottostante tabella.

Zona Sismica	$a_g$
1	0.35
2	0.25
3	0.15
4	0.05

L'area di studio ricade in Zona Sismica 2 con valori convenzionali  $a_g = 0.25$



Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto la norma (NTC/2008) definisce sette categorie di sottosuolo in base ai valori di velocità equivalente  $V_{s30}$  di propagazione delle onde di taglio entro una profondità di 30 m (**nota 1**) ovvero in base ai valori della resistenza dinamica equivalente espressa da  $N_{spt30}$  (per terreni a grana grossa) e in base ai valori della resistenza al taglio non drenata equivalente espressa da  $Cu_{30}$  (per terreni a grana fine) come indicato nella tabella seguente.

(**nota 1**)     *Fondazioni superficiali: 30 m a partire dal piano di posa della fondazione*  
                   *Fondazioni profonde : 30 m a partire dalla testa dei pali*

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/sec eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione di spessore massimo di 3.0 m
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti con spessori $> 30$ m caratterizzati da un graduale miglioramento delle caratteristiche meccaniche con la profondità e valori di $V_{s30}$ compresi fra 360-800 m/sec ovvero: $N_{spt30} > 50$ per terreni a grana grossa $Cu_{30} > 250$ KPa nei terreni a grana fine
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con spessori $> 30$ m caratterizzati da un graduale miglioramento delle caratteristiche meccaniche con la profondità e valori di $V_{s30}$ compresi fra 180-360 m/sec ovvero: $N_{spt30}$ compreso fra 15-50 per terreni a grana grossa $Cu_{30}$ compreso fra 70-250 KPa nei terreni a grana fine
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti con spessori $> 30$ m caratterizzati da un graduale miglioramento delle caratteristiche meccaniche con la profondità e valori di $V_{s30} < 180$ m/sec ovvero: $N_{spt30} < 15$ per terreni a grana grossa $Cu_{30} < 70$ KPa nei terreni a grana fine
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m posti sul substrato di riferimento con valori di $V_{s30} > 800$ m/sec ovvero: $N_{spt30} < 15$ per terreni a grana grossa $Cu_{30} < 70$ KPa nei terreni a grana fine
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s30}$ inferiori a 100 m/sec, che includono uno strato di almeno 8 m di terreno a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche ovvero: $Cu_{30}$ compreso fra 10-20 KPa nei terreni a grana fine
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti
Le categorie S1 e S2 sono categorie aggiuntive rispetto a quelle principali A/B/C/D/E; per tali categorie è necessario predisporre specifiche analisi per la determinazione delle azioni sismiche.	



Il calcolo della velocità equivalente  $V_{s30}$  deriva dalla applicazione della seguente relazione:

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

dove  $h_i$  spessore dello strato i-esimo  
 $V_i$  velocità dell'onda di taglio i-esima  
 $N$  numero di strati

Dalla applicazione del metodo previsto dalla Norma NTC/2008 risulta che il valore  $V_{s30}$  è fortemente influenzato dagli strati meno rigidi presenti nei 30 m di sottosuolo; il calcolo di  $N_{spt30}$  e di  $Cu_{30}$  deriva dalla applicazione della formula suesposta avendo cura di sostituire  $V_i$  con i valori  $N_{spt}$  o  $Cu$ .

Nel caso specifico, per la definizione indicativa della categoria di sottosuolo, prevista dalla procedura semplificata introdotta dalle NTC/2008, ci si è riferiti:

- al valore  $V_{s30}$  direttamente calcolato con le prove sismiche MASW;
- alla profondità di 30 m a partire dal p.c. attuale.

IL valore equivalente della velocità delle onde di taglio  $V_{s30}$  ricavato dalle prove simiche MASW sull'area di fondovalle è risultato:

$$\mathbf{V_{s30} = 351-358 \text{ m/sec}}$$

Dagli esiti delle indagini, pur tenuto conto che la profondità di riferimento per la stima delle  $V_{s30}$  è relativa al p.c., si può preliminarmente stimare che l'area risulti ascritta alla seguente categoria di sottosuolo:

CATEGORIA SOTTOSUOLO	$V_{s30}$ (NTC/2008)
<b>C</b>	<b>180-360 m/sec</b>

L'applicazione delle NTC/2008 prevede l'assunzione di un coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$  che assume i valori di seguito riportati in funzione della morfologia e dell'ubicazione dell'intervento:



<b>Categoria topografica</b>	<b>Caratteristiche topografiche</b>	<b>Ubicazione opera</b>	<b>S<sub>T</sub></b>
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$	-	1.0
T2	Pendii con inclinazione media $> 15^\circ$	In corrispondenza della sommità del pendio	1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.4

Trattandosi di un intervento che ricade in area pianeggiante il coefficiente di amplificazione topografica sarà  $S_T = 1.00$ .



## 9. SCENARIO DI RISCHIO ESONDAZIONE DEL FIUME METAURO

### 9.A) IL BACINO DEL FIUME METAURO

Il bacino del Metauro è ubicato quasi interamente nella Provincia di Pesaro e Urbino (Marche); solo una piccola parte dell'alto bacino appartiene all'Umbria e alla Toscana. La sua superficie è di circa 1.400 Km<sup>2</sup>. Ha una lunghezza di circa 110 Km e nasce come Torrente Auro sul Monte Maggiore, nell' Alpe della Luna (Provincia di Arezzo, Toscana). Gli affluenti principali sono il T. Meta, il F. Candigliano (con subaffluenti T. Burano, T. Bosso e T. Biscubio), il T. Tarugo, il Rio Puto ed il Rio Maggiore. Possiede un regime torrentizio, con portate relativamente alte da Novembre a Marzo e basse da Luglio a Settembre. Sfocia nell'Adriatico nei pressi di Fano.

Nell'ambito del bacino si possono distinguere:

- un settore basso e medio-subappenninico, dal Mare Adriatico agli affluenti Rio Puto e T. Tarugo, con colline che si estendono sino a ridosso della costa ed una pianura alluvionale che si allarga progressivamente nell'ultimo tratto e si fonde con quella adiacente del T. Arzilla;
- un settore alto-subappenninico, dal Rio Puto e T. Tarugo sino alla linea Cagli - S. Angelo in Vado, con montagne sino a quasi 1.000 metri, colline e terreni di fondovalle;
- un settore appenninico, dalla linea Cagli - S. Angelo in Vado sino allo spartiacque con il Tevere, che comprende montagne sino a 1.700 metri, colline e terreni di fondovalle.

Da un punto di vista geologico, si può dividere schematicamente il bacino in due parti, la parte alta caratterizzata prevalentemente dalla Formazione Marina denominata *Marnoso-Arenacea* appartenente al periodo della deposizione miocenica e la parte bassa rappresentata da una serie di terrazzi alluvionali riconducibili a due differenti tipologie: terrazzi di erosione e terrazzi con deposito. I primi risalenti al Pleistocene medio posti a quote più elevate sul fondovalle e i secondi risalenti al Pleistocene superiore - Olocene posti a quote più basse.



L'orientamento del Bacino ricalca quello più generale dei fiumi marchigiani con prevalente direzione SO-NE secondo la valle disposta perpendicolarmente alla linea di costa.



## 9.B) TOPOGRAFIA DELL'AREA DI STUDIO

Le verifiche di esondazione sono state effettuate utilizzando i seguenti supporti cartografici:

- Carta Tecnica Numerica in scala 1:2.000 del Comune di Fano;
- Sezioni idrauliche del F. Metauro numerate dalla 07-001M alla 07-008 e sezioni del ponte Ferrovia e ponte Strada Statale, realizzate dalle Regione Marche (10 sezioni);
- Rilievo topografico finalizzato ad implementare la lunghezza delle sezioni della Regione Marche prospicienti l'area ovvero quelle più significative e numerate dalla 07-002 alla 07-005; ciò ha consentito di acquisire profili maggiormente estesi e quindi maggiormente significativi in destra e sinistra idrografica; le sezioni così integrate sono state eseguite dallo studio tecnico del Geom. Rossignolo e sono riprodotte nell'elaborato 2 e 3.
- Rilievo di campagna con ricostruzione grafica delle dimensioni dell'argine sinistro lungo la sezione 07-008 in considerazione del fatto che la suddetta sezione del rilievo della Regione Marche era graficamente priva dell'argine sinistro.

Dall'analisi della documentazione suddetta si evince che tutta l'area industriale, in sinistra idrografica, si trova a quote che variano dagli 8.0 m ai 12.0 m circa s.l.m.

La morfologia dell'argine posto in sinistra idrografica, ovvero quello che sottende l'area di studio e, di conseguenza, direttamente interessato da eventuali fenomeni di esondazione fluviale del Fiume Metauro in direzione dell'area stessa, è caratterizzata dalle seguenti quote:

- Nel tratto compreso tra la sez. 07-002 M e la sez. 07-005 (adiacenti l'area studiata) le quote arginali sono variabili da circa 5.6 m a circa 7.5 m s.l.m.; lungo il tratto suddetto, le quote più basse si riscontrano nel tratto compreso tra le sezioni 07-004 e 07-005 laddove si riscontrano quote rispettivamente di 6.92 e 6.34 m s.l.m.;
- Nel tratto idraulicamente a monte, compreso tra la sez. 07-005 e la sez. 07-008, la quota varia da circa 6.3 m a circa 8.3 m s.l.m..



La morfologia dell'argine posto in destra idrografica, ovvero quello opposto all'area di studio, nel corrispondente tratto esaminato è caratterizzata dalle seguenti quote:

- Nel tratto compreso tra la sez. 07-002M e la sez. 07-005 le quote sono variabili da circa 5.5 m a circa 6.8 m s.l.m.;
- Nel tratto tra la sez. 07-005 e la sez. 07-008 le quote variano da circa 6.1 m a circa 8.1 m s.l.m..

La porzione S.E. del comparto, direttamente a ridosso dell'argine sinistro del fiume Metauro, si caratterizza per la presenza degli argini artificiali delle vasche di decantazione dell'ex zuccherificio; tali argini hanno quote variabili da 8.6 a 11.7 m s.l.m ed estendendosi, di fatto, l'argine sinistro naturale del Fiume Metauro a quote più elevate.

La presenza dell'argine sinistro più alto rispetto a quello destro pone l'area dell'ex zuccherificio in posizione più protetta e quindi meno esposta rispetto ad un evento di esondazione fluviale; infatti, per tale differenza di quote l'onda di piena connessa ad un evento di esondazione del Fiume Metauro interesserebbe primariamente l'area posta in destra idrografica con sversamento nell'attigua piana alluvionale.

### **9.C) DATI DI INGRESSO E MODELLO MATEMATICO**

Lo studio è stato condotto interessando il tratto del Fiume Metauro lungo circa 1.800 m a partire dalla foce e procedendo verso monte.

Considerato che il bacino idrografico sotteso dal Fiume Metauro ha un'estensione di 1.400 Km<sup>2</sup> unitamente al fatto che le stazioni di rilevamento pluviometriche non sono ovunque presenti e che i dati pluviometrici delle serie storiche non sono sempre esaustivi e quindi facilmente reperibili si deduce una certa complessità nella stima dei colmi di piena da associare alle verifiche di esondazione; per tali motivi si è fatto riferimento ai valori di piena alla foce forniti dal Servizio 4.4 - Acque Pubbliche - Rischio Idraulico e Sismico della Provincia di Pesaro e Urbino.

Usufruento di tali valori unitamente ad ulteriori dati in nostro possesso si possono stimare alla foce del Fiume Metauro portate bisecolari variabili da 1.583 m<sup>3</sup>/s a 2.278 m<sup>3</sup>/s.



Per le verifiche di esondazione nel tratto di interesse sono state assunte la portata bisecolare massima stimata di 2.278 m<sup>3</sup>/s e la portata di 1.680 m<sup>3</sup>/s utilizzata da precedenti studi effettuato sullo stesso tratto di fiume, in occasione del rifacimento dell'argine destro.

Dall'utilizzo dei supporti cartografici di cui al par. 9.B sono state condotte verifiche utilizzando 10 sezioni numerate, a partire dalla foce verso monte, nel seguente ordine:

- Sez. 07 - 001 V;
- Sez. 07 - 001 M;
- Sez. 07 - 002 V;
- Sez. 07 - 002 M;
- Sez. 07 - 003;
- Sez. 07 - 004;
- Sez. 07 - 005;
- Sez. 07 - 006;
- Sez. 07 - 007;
- Sez. 07 - 008.

Le sezioni 07 - 001 V (lato mare), 07 - 001 M (lato monte) e le sezioni 07 - 002 V (lato mare), 07 - 002 M (lato monte) sono state così nominate e ripetute per poter inserire all'interno del programma di calcolo HEC-RAS la struttura dei due ponti presenti nell'area di studio, ovvero il ponte della Ferrovia Bologna - Bari e il ponte della Strada Nazionale Adriatica Sud.

Nella tabella fornita dal programma e proposta in allegato 11 sezioni sono riprodotte secondo la seguente numerazione:

SEZIONE	DESCRIZIONE
1	07 - 001 Valle
1.25	Ponte Ferrovia
1.5	07 - 001 Monte
2	07 - 002 Valle
2.25	Ponte S.N.A.S.
2.5	07 - 002 Monte
3	07 - 003
4	07 - 004
5	07 - 005
6	07 - 006
7	07 - 007
8	07 - 008



## 9.D) SOFTWARE DI CALCOLO

Lo studio è stato sviluppato utilizzando il programma di analisi **HEC-RAS – Version 4** del U.S. Army Corps of Engineers. Il programma fornisce una completa rappresentazione monodimensionale del deflusso in moto permanente a pelo libero, descrivendo, per ogni sezione di calcolo, tutte le principali grandezze fisiche significative. Esso calcola altresì i profili di rigurgito in moto permanente, in corrente lenta, veloce o mista permettendo inoltre di prevedere la presenza di opere interferenti.

A fronte delle portate al colmo introdotte ed in rapporto alle condizioni al contorno stabilite, tenendo conto degli effetti degli eventuali rigurgiti provocati dalla variazione delle caratteristiche della sezione utile al deflusso, il modello restituisce i livelli idrici corrispondenti in ogni sezione in termini di quota assoluta e ne offre la rappresentazione grafica tanto trasversale, quanto longitudinale.

La trasposizione di questi livelli sulla planimetria consente di determinare l'andamento delle curve-inviluppo delle aree sede del deflusso relativo alla portata con tempo di ritorno corrispondente all'evento di riferimento.

Questa operazione avviene combinando l'informazione relativa all'estensione del pelo libero fornita dalle sezioni trasversali elaborate, con l'osservazione dell'andamento morfologico dell'area interessata in planimetria, in modo da verificarne la congruenza con i livelli idrici calcolati.

La valutazione del comportamento idraulico in corrispondenza dalle opere interferenti consente infine di valutarne l'efficienza rispetto al transito della piena di riferimento ed in particolare di verificarne le condizioni di funzionamento (deflusso libero e relativo franco, deflusso in pressione con eventuale sormonto) e l'influenza rispetto ai livelli idrici di monte.

In conclusione l'elaborazione per mezzo del programma di analisi **HEC-RAS** permette di:

- definire i livelli idrodinamici per i tempi di ritorno di riferimento;
- valutare l'efficienza idraulica dei manufatti previsti.

Il programma **HEC-RAS** è progettato per effettuare calcoli idraulici per un'intera rete di canali naturali o artificiali. Le ipotesi alla base delle espressioni analitiche usate nel codice di calcolo sono le seguenti:



- il moto è permanente;
- la corrente è gradualmente variabile, ad eccezione dai tratti interessati dalle opere puntuali dove la portata può variare velocemente; in questo caso sono usate o l'equazione della quantità di moto o espressioni empiriche;
- la corrente è lineare, pertanto le componenti della velocità in direzioni che non siano quelle della corrente non vengono considerate;
- i canali fluviali hanno pendenze longitudinali inferiori al 10%.

La procedura alla base dei calcoli si fonda sulla soluzione dell'equazione monodimensionale dell'energia risolvendola da una sezione trasversale a quella successiva, mediante una procedura iterativa per passi successivi:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

dove:  $Y_1, Y_2$  = altezza d'acqua nelle due sezioni trasversali successive  
 $Z_1, Z_2$  = quota di fondo del canale principale  
 $V_1, V_2$  = velocità media (portata totale/ area totale)  
 $\alpha_1, \alpha_2$  = coefficienti di Coriolis  
 $g$  = accelerazione di gravità  
 $h_e$  = perdita di carico (perdita di energia tra le due sezioni)

La perdita di carico tra due sezioni trasversali successive è costituita dalle perdite per attrito (eq. di Manning) e da quelle per contrazione od espansione delle sezioni.

Generalmente la determinazione della capacità di portata totale e del coefficiente di Coriolis per una determinata sezione trasversale richiede che la portata sia suddivisa in zone in cui la velocità sia distribuita uniformemente.

L'approccio usato in HEC-RAS è di suddividere la portata degli alvei di piena per una determinata sezione trasversale, usando come base per la suddivisione i punti della sezione in cui il coefficiente di scabrezza varia. Il programma somma tutte le singole capacità di portata per ottenere la capacità di portata per gli alvei di piena sinistro e quello di destro; il canale principale è considerato generalmente indiviso tranne quando all'interno della sezione varia il coefficiente di scabrezza. La capacità di portata totale per la sezione trasversale è ottenuta sommando le tre singole portate (sinistra, canale principale e destra).



Per ciò che concerne il reticolo idrografico, questo viene preliminarmente definito in forma di schema riportando tutti i tratti di corso d'acqua esaminati con le loro interconnessioni; ne deriva un modello geometrico che costituisce la rappresentazione del sistema fisico rispetto al quale vengono svolte le simulazioni idrauliche. A ciascun tratto vengono poi riferite le relative sezioni trasversali, alle quali vengono successivamente associati manufatti interferenti (intubato, protezioni spondali, ecc.) e opzioni che permettono di descrivere più accuratamente le condizioni locali del deflusso.

Le verifiche idrauliche sono state svolte combinando le informazioni idrologiche con quelle geometriche e topografiche derivanti dall'attività di rilievo e con i risultati dei vari sopralluoghi. Questi ultimi hanno avuto in un primo tempo lo scopo di un'osservazione delle caratteristiche dell'alveo (materiali, regolarità, vegetazione) in modo da consentire la stima dei coefficienti di scabrezza da utilizzare nel modello, successivamente sono serviti a verificare le ipotesi poste a base della modellazione e la verosimiglianza dei risultati dell'analisi.

Come già detto l'analisi idraulica si è basata sulle portate al colmo relative ad eventi di piena con tempo di ritorno 200 anni. Limitatamente al tratto di fiume in studio sono state realizzate due verifiche una con  $Q = 1.680 \text{ m}^3/\text{s}$  ed una con  $Q = 2.278 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Tra i dati da inserire all'interno del programma compare il *Coefficiente di Manning o Coefficiente di scabrezza*. Trattasi di una misura globale della resistenza del moto, la cui scelta deve essere effettuata a seguito di un'accurata ricognizione dei luoghi, considerando le caratteristiche specifiche dei materiali che compongono l'alveo e la copertura vegetale delle sponde e delle aree golenali adiacenti interessate al deflusso. (Alberto Mariano Caivano - "Rischio idraulico ed idrogeologico").

In questo determinato caso, constatando un effetto relativo di ostruzioni abbastanza elevato, è stato ipotizzato un valore di Manning pari a 0,06 per la gola di sinistra e quella di destra (valore cautelativo), mentre per il corso d'acqua è stato considerato il valore di 0,04 tipico dei corsi d'acqua con presenza di ciottoli e ghiaia.

I coefficienti di contrazione ed espansione, che intervengono nel calcolo delle perdite di carico accidentali, sono stati assunti rispettivamente pari a 0,1 e 0,3.

Passaggio di notevole importanza e difficoltà nel proseguo del calcolo con HEC-RAS è la determinazione delle condizioni a contorno di monte e valle,



necessarie per definire il profilo liquido. A tal riguardo vengono impiegati tre differenti schemi di calcolo:

- CORRENTE LENTA (*subcritical flow*)
- CORRENTE VELOCE (*supercritical flow*)
- CORRENTE MISTA (*mixed flow*)

Per questo specifico studio è stato impiegato uno schema di corrente mista (*mixed flow*), in quanto ritenuta più adatta al fine dei calcoli. Nel nostro caso è stato deciso di utilizzare lo schema di calcolo a corrente mista in quanto si è ipotizzato una possibile transizione da un tipo di corrente lenta a corrente veloce, dando luogo ad una successione di tronchi con differenti caratteristiche di moto, che nel caso di cambiamento da corrente veloce a lenta porteranno alla formazione di risalti idraulici. Per l'utilizzo di questo schema è necessaria la condizione di contorno sia a monte che a valle in corrispondenza delle due sezioni estreme (di monte e di valle) del tratto considerato.

Per la condizione di monte è stata utilizzata l'opzione Normal Depth (ND). Si è inserita la pendenza della linea dei carichi totali, che è stata approssimata mediante la pendenza del tratto di canale a monte. Per la condizione di contorno a valle è stata utilizzata l'opzione Known Water Surface Elevations (WSE) corrispondente al valore noto dell'altezza d'acqua utilizzato per ciascuno dei profili da calcolare.

Per la condizione di contorno a monte è stato inserito il valore di  $ND = 0,001$  mentre per le condizioni a contorno di valle è stato utilizzato il valore di  $WSE = 2$  m pari al valore dell'innalzamento del livello marino desunto dalla letteratura. Nello specifico si è fatto riferimento allo studio del "Progetto di piano per la difesa del mare e la riqualificazione ambientale del litorale della regione Emilia-Romagna" (ARPA - Regione Emilia-Romagna - 1996), nel quale sono riportati i valori dell'innalzamento marino con tempi di ritorno di:  $Tr\ 1 = 1,3$  -  $Tr\ 10 = 1,7$  e  $Tr\ 100 = 2,1$  m s.l.m..

In realtà non essendo sovrapponibili i tempi di ritorno dei corsi d'acqua con quelli dell'innalzamento marino e considerando che il valore del massimo livello medio annuale è di circa 1,3 m s.l.m. si è deciso di utilizzare il valore di 2 m s.l.m., considerato come un giusto compromesso tra il livello medio annuale e il livello del  $Tr\ 100$ ; valore comunque considerato cautelativo.



Le sezioni di rilevanza idrologica, per le quali si è proceduto alla determinazione dell'onda di piena per tempi di ritorno di 200 anni, sono localizzate lungo il corso d'acqua ubicate da monte verso valle della zona di intervento in punti ritenuti più significativi che potrebbero influire sul regolare deflusso delle acque.

La planimetria con l'ubicazione delle sezioni è riportata nella cartografia allegata (Elaborato 2). Le sezioni scaturite dal modello di calcolo sono riportate nell'Elaborato 3; i tabulati di calcolo riassuntivi sono esposti nell'allegato 11 in calce alla relazione. Le sezioni sono state numerate a partire dalla foce del Metauro per un'estensione verso monte di circa 1.800 m nella seguente sequenza: 07 - 001 V, 07 - 001 M, 07 - 002 V, 07 - 002 M, 07 - 003, 07 - 004, 07 - 005, 07 - 006, 07 - 007, 07 - 008.

Nella Tabella 9.1 di seguito riportata vengono riassunti i risultati dei calcoli nelle condizioni attuali riferite ai tempi di ritorno  $T_r$  200 anni (con  $Q = 1.680 \text{ m}^3/\text{s}$  e con  $Q = 2.278 \text{ m}^3/\text{s}$ ), tra i quali altezza e quota del pelo libero dell'acqua, dell'energia, etc.; seguono i tabulati del programma di calcolo e le relative sezioni di riferimento con riportata la quota del pelo libero dell'acqua (Allegato 11).

**Tab. 9.1 - Tabella riassuntiva dei dati in uscita**

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
Metauro	8	TR 200	1680.00	1.05	7.13	4.89	7.27	0.000910	1.65	1018.16	311.70	0.29
Metauro	8	TR 200 BIS	2278.00	1.05	7.66	5.30	7.85	0.001022	1.92	1184.12	314.02	0.32
Metauro	7	TR 200	1680.00	0.67	6.71	4.88	6.89	0.001488	1.92	876.25	311.31	0.36
Metauro	7	TR 200 BIS	2278.00	0.67	7.17	5.45	7.43	0.001659	2.23	1023.15	314.92	0.39
Metauro	6	TR 200	1680.00	0.41	6.35	4.33	6.53	0.001473	1.91	879.39	310.87	0.36
Metauro	6	TR 200 BIS	2278.00	0.41	6.78	5.05	7.02	0.001632	2.20	1057.33	334.58	0.39
Metauro	5	TR 200	1680.00	0.10	6.04	4.26	6.21	0.001241	1.81	926.70	311.31	0.34
Metauro	5	TR 200 BIS	2278.00	0.10	6.40	4.69	6.64	0.001571	2.19	1038.60	312.56	0.38
Metauro	4	TR 200	1680.00	0.02	5.77	4.00	5.92	0.001004	1.70	987.04	310.65	0.30
Metauro	4	TR 200 BIS	2278.00	0.02	6.23	4.34	6.34	0.000749	1.60	1749.47	601.60	0.27
Metauro	3	TR 200	1680.00	0.30	4.73	4.37	5.18	0.006778	3.00	560.92	315.75	0.72
Metauro	3	TR 200 BIS	2278.00	0.30	5.33	4.69	5.80	0.004773	3.04	750.29	317.81	0.63
Metauro	2.5	TR 200	1680.00	-1.41	4.14	2.65	4.37	0.001604	2.12	794.05	253.41	0.38
Metauro	2.5	TR 200 BIS	2278.00	-1.41	4.80	3.02	5.08	0.001602	2.37	960.18	257.43	0.39
Metauro	2.25		Bridge									
Metauro	2	TR 200	1680.00	-1.41	3.98	2.65	4.24	0.001911	2.23	752.87	253.19	0.41
Metauro	2	TR 200 BIS	2278.00	-1.41	4.57	3.02	4.90	0.001948	2.52	902.68	255.59	0.43
Metauro	1.5	TR 200	1680.00	0.05	3.42	2.44	3.78	0.002999	2.79	683.54	260.02	0.52
Metauro	1.5	TR 200 BIS	2278.00	0.05	4.00	2.89	4.44	0.002929	3.10	834.80	261.51	0.53
Metauro	1.25		Bridge									
Metauro	1	TR 200	1680.00	0.05	1.97	2.44	3.59	0.031794	5.85	317.51	237.82	1.52
Metauro	1	TR 200 BIS	2278.00	0.05	2.29	2.89	4.23	0.029944	6.43	393.72	241.67	1.52



## Legenda Tabella 9.1

Q Total = Portata complessiva  
 Min Ch El = Quota minima del pelo libero nell'alveo principale  
 W.S. Elev = Quota del pelo libero  
 Crit W.S. = Quota critica del pelo libero  
 E.G. Elev = Quota della linea di energia per il profilo liquido calcolato  
 Vel Chnl = Velocità media nell'alveo principale  
 Flow Area = Area totale della sezione liquida effettiva  
 Top Width = Larghezza superficiale della sezione liquida  
 Froude = Numero di Froude dell'alveo principale.

Di seguito si riporta la tabella 9.2 in cui vengono riassunti i principali dati inseriti all'interno del programma per la simulazione degli ipotetici scenari di esondazione.

**Tab. 9.2**

<b>SEZIONI</b>	1 = 07 - 001 V 1.25 = Ponte Ferr. 1.5 = 07 - 001 M 2 = 07 - 002 V 2.25 = Ponte S.N.A.S. 2.5 = 07 - 002 M 3 = 07 - 003 4 = 07 - 004 5 = 07 - 005 6 = 07 - 006 7 = 07 - 007 8 = 07 - 008
<b>PORTATA</b>	TR 200 = 1.680 m <sup>3</sup> /s TR 200 bis = 2.278 m <sup>3</sup> /s
<b>CONDIZIONI AL CONTORNO</b>	ND = 0,001 WSE = 2 m
<b>COEFFICIENTE DI MANNING</b>	ARGINE SX E DX = 0.006 CANALE = 0.004
<b>COEFF. ESPANSIONE E CONTRAZIONE</b>	C. E. = 0.3 C. C. = 0.1

## 9.E ) ANALISI DEI RISULTATI

I tabulati e i grafici delle verifiche sono esposti nell'allegato 11 in calce alla relazione; lo scenario dedotto con l'andamento indicativo del livello idrometrico dello specchio liquido sagomato alla morfologia del terreno è visibile nell'elaborato 4. Nella sottostante tabella 9.3 vengono riassunti :

- l'altezza del livello dell'acqua con piena bisecolare  $Q = 2278 \text{ m}^3/\text{sec}$ ;
- Le quote arginali in sponda sinistra e destra risultanti dal rilievo delle sezioni.

**Tab. 9.3 - Sezioni di verifica  
confronto fra le quote arginali e altezza H2O per Tr200 e Q 2278 m3/sec**

Sezione di verifica	Argine sinistro quota m slm	Altezza H2O quota m slm	Argine destro quota m slm	Franco argine Sinistro (m)	Franco argine destro (m)
<b>07 - 001 Valle</b>	7.36	2.29	7.35	+5.07	+5.06
<b>Ponte Ferrovia</b>					
<b>07 - 001 Monte</b>	7.83	4.00	7.36	+3.83	+3.36
<b>07 - 002 Valle</b>	7.12	4.57	7.11	+2.55	+2.54
<b>Ponte S.N.A.S.</b>					
<b>07 - 002 Monte</b>	7.12	4.80	7.11	+2.32	+2.31
<b>07 - 003</b>	8.27	5.33	6.68	+2.94	+1.35
<b>07 - 004</b>	11.69	6.23	6.22	+5.46	- 0.01
<b>07 - 005</b>	6.74	6.40	6.45	+0.34	+0.05
<b>07 - 006</b>	7.36	6.78	6.64	+0.58	- 0.14
<b>07 - 007</b>	7.45	7.17	7.31	+0.28	+0.14
<b>07 - 008</b>	8.30	7.66	7.98	+0.64	+0.32

Analizzando i risultati nei diversi tratti studiati, più precisamente:

- tratto fra le sezioni 07-002M e 07-008 (a monte e prospiciente il comparto);
- tratto fra le sezioni 07-002M e 07-001V (a valle del comparto).

si possono trarre le seguenti deduzioni.

**Tratto fra le sezioni 07-002M e 07-008** : Nel tratto di fiume a ridosso del comparto, ovvero quello compreso tra la sezione 07 - 002 M e la 07 - 005, grazie anche alla presenza degli argini delle vasche di decantazione che di fatto estendono l'argine naturale a quote più elevate, lo scenario che si deduce dalle verifiche condotte fa ritenere che le quote arginali in sinistra idrografica siano tali da contenere la portata di piena  $Q = 2.278 \text{ m}^3/\text{s}$  con Tr 200 anni. Dai dati riportati in tab. 9.3 risulta infatti un franco di alcuni metri; solo a partire dalla sezione 07-005 procedendo verso monte fino alla sezione 07-008 il franco si riduce ad altezze inferiori al metro (Tab. 9.3). La conformazione arginale lungo il tratto studiato è tale che le quote rilevate sulle corrispondenti sezioni in sponda destra risultino inferiori rispetto alle quote in sponda sinistra. Questa particolare conformazione arginale fa ritenere che in particolari eventi critici di piena la prima zona ad essere interessata da una esondazione è quella posta in destra idrografica. Dai risultati di calcolo, come si evince dalla tabella 9.3, risultano infatti altezze di piena superiori alle quote arginali (sez. 07-004; sez. 07-006) di 0.01 e 0.14 cm. Da un punto di vista pratico questo è intuibile anche attraverso la lettura del rilievo plano-altimetrico alla scala 1:2000 dal quale si ricava che gli argini delle vasche di decantazione ex. zuccherificio, ovvero in sinistra idrografica, presentano quote variabili da 8,6 a 11,7 m s.l.m., valori superiori a quelle dell'argine in destra variabili da 5,5 m a circa 8,1 m s.l.m..



**Tratto fra le sezioni 07-002M e 07-001V :** Nel tratto prossimo alla foce, quindi a valle del comparto, i tiranti idrici stimati varierebbero tra i 4,57 m s.l.m. della sez 07 - 002V (pressoché coincidente con la strada statale 16) ai 2,29 m s.l.m. della sez 07 - 001V. Dalla tabella 9.3 si deduce che le altezze arginali siano in grado di contenere la piena bisecolare con un franco di qualche metro; tuttavia, dall'analisi del rilievo plano-altimetrico 1:2000 si riscontra che l'argine sinistro decresce dalla sez. 07 - 002V alla sez 07 - 001M da quota 4,78 a 4,20 m slm circa; considerato che in questo tratto sono ipotizzabili tiranti idrici variabili da 4,57 a 4,00 m è possibile supporre una fuoriuscita di acqua e quindi lo straripamento anche in sponda sinistra.



## 10. CONCLUSIONI

Dagli esiti delle indagini eseguite a più riprese nell'area (2001-2004-2010) si possono trarre le seguenti conclusioni in relazione al progetto VARIANTE 2012:

- I terreni di sedime dell'area interessata dal recupero degli edifici colonici sono riferibili alla sequenza sedimentaria del complesso alluvionale del Fiume Metauro, caratterizzati, al di sotto dello strato vegetale, dai litotipi sabbioso-ghiaiosi mediamente addensati e addensati riscontrati fino a circa 6.0 m dal p.c. attuale nella verticale D.P.S.H.-P1 e fino alla profondità di rifiuto di circa 3.50 m p.c. nella verticale di prova C.P.T.-S1; detti terreni sono caratterizzati da soddisfacenti proprietà litotecniche risultando caratterizzati da valori di resistenza statica alla punta  $Q_c$  dell'ordine di 150-300 Kg/cm<sup>2</sup> e valori della resistenza dinamica  $N_{spt}$  correlata al valore  $N_{20}$  dell'ordine di  $N_{spt} = 20-50$ ; al di sotto della prof. di 6.0 m p.c. fino ad oltre 10.0 m si rinvencono nella verticale D.P.S.H. i terreni a grana più fini, limoso-sabbiosi e/o argillosi; risultano caratterizzati da valori  $N_{spt}$  correlati ai valori  $N_{20}$  dell'ordine di  $N_{spt} = 4-10$  tipicamente associabili a terreni sciolti.
- Dal punto di vista della risposta sismica locale l'area del comparto è caratterizzata da condizioni morfostratigrafiche per effetto delle quali è ragionevole attendersi fenomeni di amplificazione delle onde sismiche; il sito ricade infatti all'interno di una zona di fondovalle caratterizzata da ghiaie, sabbie e ghiaie, intercalate a depositi fini limosi, limoso-sabbiosi, talora sciolti, come riscontrato nella prova DPSH; sussistono quindi condizioni morfostratigrafiche locali per effetto delle quali è ragionevole attendersi fenomeni di amplificazione delle onde sismiche. Ciò è altresì desumibile dalle indagini sismiche MASW eseguite; tali indagini hanno infatti consentito di definire preliminarmente un profilo di  $V_{s30}$  a partire dal p.c. attuale tale da associare il sottosuolo alla categoria C, quindi *"Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti con spessori > 30 m caratterizzati da un graduale miglioramento delle caratteristiche meccaniche con la profondità e valori di  $V_{s30}$  compresi fra 360-800 m/sec ovvero:  $N_{spt30} > 50$  per terreni a grana grossa -  $Cu_{30} > 250$  KPa nei terreni a grana fine"*.
- Riguardo al rischio idrogeologico per fenomeni di esondazione fluviale, dalle cartografie disponibili unitamente alle verifiche svolte, per le quali si rimanda al cap. 9, è possibile dedurre che la conformazione arginale del tratto di Fiume Metauro prospiciente l'area di intervento ed esteso immediatamente a monte è tale da riscontrare quote ribassate in



corrispondenza della sponda destra rispetto alla sponda sinistra; la sponda sinistra è infatti caratterizzata dalla presenza degli argini artificiali delle vasche ex zuccherificio che di fatto estendono l'argine naturale a quote più elevate; ciò fa ritenere, pur con i limiti e le approssimazioni del caso, che l'area primariamente interessata da un possibile evento di piena con portate bisecolari stimate pari  $Q = 2278 \text{ m}^3/\text{sec}$  possa risultare quella adiacente alla sponda destra, ovvero opposta al comparto oggetto di variante; a valle del comparto, lo scenario deducibile, confrontato con la morfologia dedotta dal rilievo 1:2000, fa ritenere che vi sia la possibilità di esondazione anche in sponda sinistra come indicativamente raffigurato nella planimetria dell'elaborato 4.

Riguardo alla fattibilità geologica, fermo restando il rispetto delle vigenti norme per le costruzioni in zona sismica (D.M. 14/01/2008) che prevedono specifici studi geologici, geotecnici e verifiche sismiche, a corredo dei progetti esecutivi degli interventi, vengono di seguito fornite alcune raccomandazioni per la mitigazione dei rischi idrogeologici e per la stabilità delle opere e/o manufatti. Si raccomanda pertanto:

- di prevedere piani di posa delle fondazioni su terreni resistenti e omogenei in corrispondenza di tutti i punti di appoggio (al fine di limitare i cedimenti differenziali) e a profondità tali da non risentire delle variazioni stagionali e/o cicliche del contenuto d'acqua;
- di porre la dovuta e necessaria attenzione alle acque meteoriche superficiali di apporto diretto e indiretto realizzando opere permanenti di regimazione idrogeologica delle acque che consentano, sin dall'avvio della fase esecutiva e quindi della cantierizzazione degli interventi, l'allontanamento delle acque al di fuori dell'area di pertinenza di tutte le opere in progetto;
- di mantenere in efficienza la rete di scolo e drenaggio delle acque meteoriche e, al contempo, di non alterare il regolare deflusso delle acque;
- di contenere gli eventuali fronti di sbancamento e/o di riporto mediante opere di sostegno adeguatamente provviste di sistemi di drenaggio a tergo per l'allontanamento delle acque con la conseguente riduzione delle pressioni interstiziali; al contempo dovrà essere verificata, prima dell'avvio della fase esecutiva degli interventi, l'esatta geometria degli eventuali sbancamenti rispetto alle reali condizioni al contorno; ciò al fine di prevedere ed eseguire, laddove necessario, quelle opere provvisorie di



sostegno a salvaguardia della stabilità dell'area e delle opere, fabbricati e manufatti limitrofi;

- di evitare interventi, se non debitamente autorizzati, che possano alterare e/o compromettere i profili di stabilità e morfologici degli argini fluviali; in ogni caso gli interventi di rimodellamento e/o riprofilatura degli argini dovranno essere corredati di specifici studi per la verifica di stabilità e alla esondazione, con i conseguenti effetti attesi a monte e a valle.

Si raccomanda inoltre, all'avvio della fase esecutiva degli interventi, di verificare la validità di tutte le ipotesi assunte, adeguando eventualmente le opere previste alle situazioni effettivamente riscontrate, valutando altresì soluzioni d'intervento opportune per garantire adeguate condizioni di stabilità e sicurezza.

Per tutto quanto sopra esposto si resta pertanto a disposizione, sin da ora, per approfondimenti, chiarimenti, verifiche e controlli in fase di progetto e di esecuzione degli interventi.

Fano, Settembre 2012



## Allegati al testo

ALLEGATO 1	COROGRAFIA IGM 1:25.000
ALLEGATO 2	COROGRAFIA C.T.R. 1:10.000
ALLEGATO 3	CARTA GEOLOGICA 1:5.000
ALLEGATO 4	CARTA GEOMORFOLOGICA E DELLE PERICOLOSITA' GEOLOGICHE
ALLEGATO 5	CARTA IDROLOGICA E DELLA PERMEABILITA' 1:5.000
ALLEGATO 6	PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI 1:5.000
ALLEGATO 7	SEZIONI LITOSTRATIGRAFICHE
ALLEGATO 8	PROFILI STRATIGRAFICI - INDAGINI 2001/2004
ALLEGATO 9	GRAFICI E CERTIFICATI PROVE PENETROMETRICHE
ALLEGATO 10	RAPPORTO PROVE SISMICHE MASW
ALLEGATO 11	GRAFICI E TABULATI DI VERIFICA STUDIO ESONDAZIONE