

DOTT. GEOL. LAURA PELONGHINI

Via Alessandrini 3 - FANO (PS)

Tel e fax 0721/1796562

C.F. PLN LRA 71H63 D488K

P.IVA 01437530411

e-mail: laura.pelonghini@libero.it

COMUNE DI FANO

*RELAZIONE GEOLOGICA PER IL PIANO ATTUATIVO RELATIVO ALL'AREA ST6_P55 - COMPARTO
RESIDENZIALE E SCOLASTICO SITO IN VIA CARDARELLI.*

Committente: CUICCHI MARINO

Fano, 12/07/2011

IL TECNICO

INDICE

| | |
|--|----|
| 1. <i>P R E M E S S A</i> | 3 |
| 2. <i>INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO – GEOLOGICO - IDROGEOLOGICO</i> | 4 |
| <i>Topografia</i> | 4 |
| <i>Geomorfologia</i> | 5 |
| <i>Inquadramento geologico</i> | 6 |
| <i>Inquadramento climatico e idrologico</i> | 7 |
| 3. <i>CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE</i> | 9 |
| <i>Determinazione Dei Parametri Caratteristici</i> | 13 |
| 4. <i>ANALISI DEI VINCOLI PRESENTI NELL'AREA</i> | 15 |
| <i>Piano Di Assetto Idrogeologico</i> | 15 |
| <i>Vincoli Di Prg</i> | 15 |
| <i>Carta Idrografica (Scala 1:5.000)</i> | 17 |
| <i>Carta Geomorfologica</i> | 18 |
| <i>Carta Delle Pericolosità Geologiche</i> | 16 |
| 5. <i>CONSIDERAZIONI SULLA FATTIBILITÀ DEL PROGETTO</i> | 19 |
| <i>Azione Sismica</i> | 19 |
| <i>Verifiche Di Stabilità Globali</i> | 22 |
| <i>Modalità Esecutive Degli Sbancamenti</i> | 28 |
| <i>Pericolosità idraulica</i> | 29 |
| <i>Misure di Mitigazione</i> | 32 |
| 6. <i>CONCLUSIONI</i> | 34 |

1. PREMESSA

La presente relazione viene redatta a supporto del progetto "Piano attuativo denominato ST6_P55 - Comparto residenziale e scolastico Via Cardarelli".

L'indagine svolta è stata indirizzata all'individuazione delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e stratigrafiche dell'area in oggetto, al fine di accertare l'idoneità dell'area al Piano Attuativo di cui sopra.

Si premette che l'indagine è stata eseguita avvalendosi delle carte geologiche ufficiali, dell'ortofotocarta regionale, di studi per l'adeguamento al P.P.A.R. del P.R.G., integrati da una campagna di indagini geognostiche descritte in seguito.

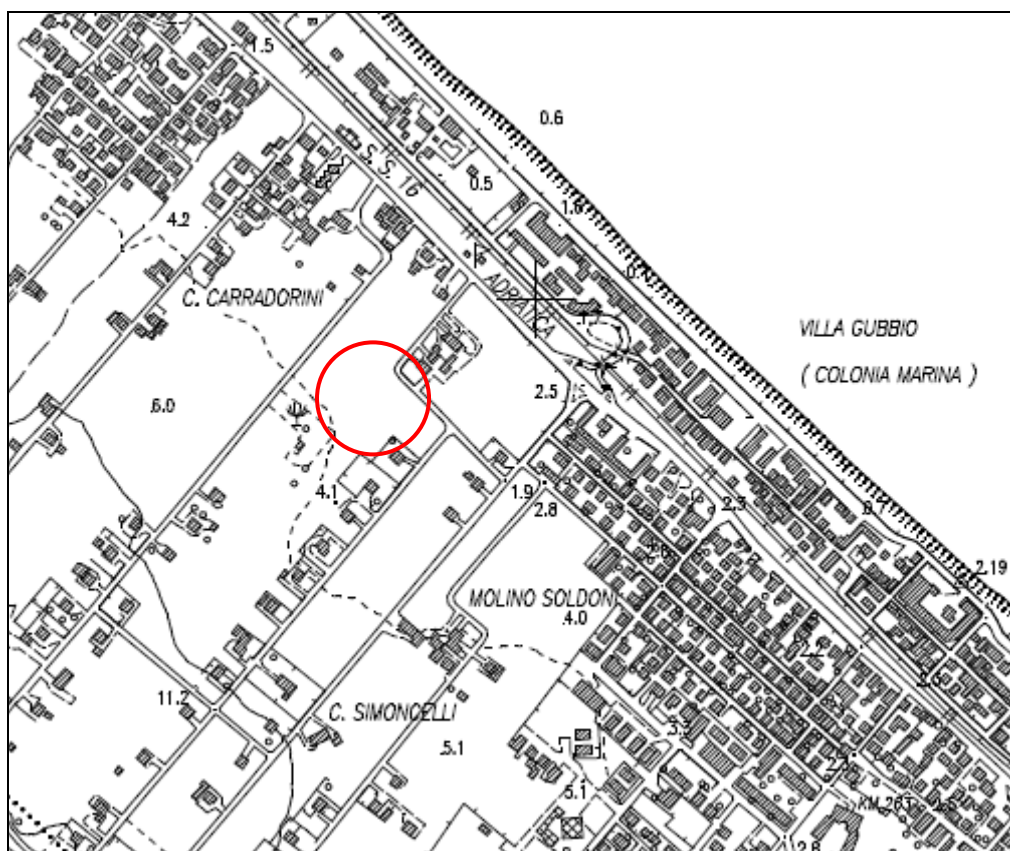
Si precisa, inoltre, che il presente lavoro è un compendio delle varie relazioni e perizie presentate agli enti competenti dal settembre 2009 ad oggi a seguito di approfondimenti d'indagine richiesti nonché a modifiche apportate al progetto originario qui riuniti in maniera organica per una più facile lettura di tutti gli elaborati.



2. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO – GEOLOGICO - IDROGEOLOGICO

Topografia

L'area in oggetto risulta ubicata a sud del centro abitato di Fano ed è posta ad una quota topografica di 4 mt. circa s.l.m.m., come rappresentato nella allegata corografia ortofotogrammetrica, a scala 1:10.000, REGIONE MARCHE, foglio 281 (SENIGALLIA) sez. n° 281020 - "MONDOLFO",



Carta Tecnica Regionale – sezione 281020 "Mondolfo" stralcio

L'area in oggetto è ubicata nel Comune di Fano in località Marotta, è distinta al Catasto al foglio n. 124 Mappale 329 e sviluppa una superficie territoriale di ha 1,008 circa.

L'area confina a Nord Est e Sud Est con Via Cardarelli, a Nord Ovest con un fosso senza nome e a Sud Est con altre proprietà. All'interno dell'area non sono presenti edifici ed è per la totalità dell'estensione coltivata, non sono presenti essenze arboree ed erbacee come riportato nella documentazione fotografica allegata, l'area era destinata ad un uso agricolo.

Geomorfologia

L'area in studio è completamente pianeggiante con assenza di qualsiasi fenomeno d'instabilità, è collocata sui terrazzi del III ordine, sulla piana costiera che borda i rilievi collinari pliocenici a sud del Fiume Metauro. La piana costiera è teatro di una continua evoluzione morfologica che ha visto, nel tempo, migrare la linea di costa.

L'evoluzione morfologica di queste antiche rive ha messo in evidenza una forte tendenza alla rettificazione dell'intero tratto costiero: i promontori che si protendevano nettamente verso mare sono stati sottoposti ad attiva erosione mentre nelle foci fluviali le rive oloceniche avanzavano verso mare con la costruzione di cordoni ghiaiosi spesso anche di notevoli dimensioni. Recentemente sono state evidenziate e studiate due linee di riva oloceniche rispettivamente di circa 6000 e 2000 anni fa.

La prima linea di riva, risalente alla fase di stasi del livello marino dopo il massimo innalzamento postglaciale, è testimoniata da una ripa di erosione, in parte sepolta, estremamente rettilinea ubicata dove i rilievi sono costituiti da rocce meno resistenti.

La seconda linea di riva, denominata riva romana, è testimoniata da un piccola ma continua ripa di erosione marina che corre parallela all'attuale linea di riva. Essa è particolarmente ben visibile tra Fano e Senigallia. Scompare in corrispondenza delle pianie fluviali a causa dei successivi processi fluviali. Questa fase di erosione é rilevata un po' dovunque in Mediterraneo e viene fatta risalire a circa 2.000 anni or sono (da qui la sua denominazione "romana") e corrisponde al periodo in cui erano in piena attività porti che nel Medio Evo verranno interrati e superati dalle linee di riva nuovamente in avanzamento.

Inquadramento geologico

Dal punto di vista geologico il sito è collocato su depositi terrazzati frutto della ingressione e regressione marina che hanno depositato nell'area sedimenti da fini a granulari con spessori anche notevoli che sovrastano i depositi delle formazioni plioceniche (rilievi collinari) e pleistoceniche.

Il sito è collocato nel cosiddetto "Bacino marchigiano esterno" articolato in una serie di dorsali e depressioni.

All'interno della successione di sedimenti che si sono depositati entro tale bacino possono essere distinte più sequenze deposizionali, ciascuna limitata da discontinuità di sedimentazione e discordanze geometriche, maggiormente evidenti nelle zone marginali e in corrispondenza delle aree più rialzate.

Al di sotto dei depositi litoranei si riscontra quindi la presenza di argille plio pleistoceniche intercalate a sabbie in strati più o meno spessi.



Inquadramento climatico e idrologico

L'area è collocata tra il bacino idrografico del Fiume Metauro e quello di Fiume Cesano. Sulla base del sistema di classificazione dei climi proposto da Wladimir Köppen, che è certamente il più condiviso dai climatologi moderni, il clima della zona rientra nella classe C (clima temperato), che comprende i climi con temperature medie annue inferiori a 20°, nei quali la temperatura del mese più caldo supera i 10° e quella del più freddo è compresa fra 18° e -3°.

La classe C, individuata dal Köppen sulla base di criteri termici, si suddivide in tre gruppi, indicati dalle lettere s, w e f, in base a precise caratteristiche pluviometriche, il gruppo d'interesse è:

- "f" (iniziale della parola tedesca fehlt = manca) indica la mancanza di un mese arido.

In questo terzo gruppo il nostro sito (Cf), in cui in nessun periodo dell'anno si registra un elevato grado di aridità.

Una ulteriore specificazione del clima sulla base della temperatura del mese più caldo ci porta ad aggiungere alla sigla precedente (Cf) la lettera "a", se questa è superiore a 22° o la lettera "b" se è inferiore a 22°, ma almeno cinque mesi hanno una temperatura media superiore a 10°.

Pertanto il clima della zona è identificabile con la sigla Cfa.

In dettaglio il clima Cfa è caratterizzato da una temperatura media annua intorno ai 14°- 13°, da un'escursione termica moderata (circa 6°-7°) e da precipitazioni annue comprese fra i 737 mm di Fano ed i 988 di Fossombrone.

I dati relativi ai caratteri climatici ed idrologici dell'area oggetto di studio sono stati ripresi da "Ambiente Fisico Delle Marche".

"Il regime pluviometrico è di tipo sublitoraneo appenninico con influenza marittima, è caratterizzato da due massimi e due minimi.

Il massimo assoluto si registra nei mesi di Settembre Ottobre e Novembre; quello relativo nel mese di Maggio.

Il minimo assoluto di precipitazioni viene registrato ad Agosto/Luglio quello relativo ad Aprile.

L'andamento termometrico risulta caratterizzato da massimi di temperatura estiva nel mese di Luglio e minimi in Gennaio; l'escursione annuale media è di circa 19°C.

Dall'elaborazione del bilancio idrologico risulta che il periodo "secco" in cui l'evapo- traspirazione è superiore alle precipitazioni ed il suolo tende a perdere il suo contenuto di acqua si verifica nei mesi di Luglio ed Agosto.

Il regime idrologico dominante nella zona è pertanto caratterizzato da precipitazioni intense nel periodo tardo-estivo ed autunnale che fanno seguito al periodo secco estivo.”

Le precipitazioni del 2008 sono state piuttosto intense ed hanno superato il dato storico nel mese di marzo, aprile, maggio e giugno come si può vedere dalla tabella e dal grafico riportato di seguito.

ANDAMENTO CLIMATICO ANNO 2008 DELLA REGIONE MARCHE

Centro Operativo Meteorologico delle Marche

| Periodo | Valore (mm) | Storico 1961-2000 | Differenza tra Attuale e Storico |
|---------|-------------|-------------------|----------------------------------|
| 12/2007 | 73,00 | 84,50 | -11,50 |
| 1/2008 | 22,00 | 58,00 | -36,00 |
| 2/2008 | 12,30 | 59,40 | -47,10 |
| 3/2008 | 174,90 | 67,60 | 107,30 |
| 4/2008 | 83,50 | 70,60 | 12,90 |
| 5/2008 | 67,30 | 61,10 | 6,20 |
| 6/2008 | 69,80 | 66,80 | 3,00 |

L'idrografia superficiale è rappresentata da un fosso pubblico che raccoglie le acque di regimazione superficiale dell'area sub pianeggiante in occasione di eventi meteorici di notevole entità. Il fosso presenta una sezione rettangolare con una larghezza di circa 90 cm ed una profondità di 40 cm, sulle rive si notano piante idrofile e canneti, il corso d'acqua risulta essere parzialmente intubato nella parte verso la statale.



Durante l'esecuzione delle indagini penetrometriche non è stata riscontrata la presenza della falda freatica. Ciò è dovuto alla limitata sezione dell'indagine, alla natura dei terreni il cui grado di plasticità e la granulometria fine ha creato una sorta di pellicola sulle pareti della perforazione. Sondaggi a diametro maggiore eseguiti in aree limitrofe e riportate nella planimetria allegata permettono di sistemare la quota della falda a -3.4 m dal piano campagna. Considerando la quota assoluta del piano campagna s.l.m. il dato di quota della falda riferito al livello del mare è di circa 0,9-0,6 m s.l.m., le oscillazioni stagionali della falda possono comportare un innalzamento della superficie freatica sino a 3.0 m dal p.c.

3. CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE

La stratigrafia di dettaglio è rappresentata da prove penetrometriche ubicate all'interno dell'area. Sono state eseguite n. 3 indagini rappresentate da prove penetrometriche statiche CPT.

Le indagini sopra indicate sono state eseguite con sonda penetrometrica Pagani TG63 100KN. Le caratteristiche strumentali della sonda utilizzata sono di seguito elencate:

PROVE CPT (punta meccanica Begemann)

- *diametro di base del cono: 35.7 mm*
- *angolo di apertura del cono: 60°*
- *area di base del cono: 10 cmq*
- *diametro del manicotto d'attrito: 36 mm*
- *area laterale del manicotto: 150 cmq*



Di seguito si riporta la descrizione delle singole indagini.

| | |
|---------------|---|
| CPT1 1 | |
| 0,0 m – 1,2 m | ORIZZONTE A : terreno agrario superficiale |
| 1,2 m – 2,4 m | ORIZZONTE B : limo argilloso plastico con bassi valori di resistenza di punta e valori doppi di attrito laterale indice di coesione e plasticità del litotipo |
| 2,4 m – 7,4 m | ORIZZONTE C : limo argilloso con percentuale sabbiosa che aumenta in profondità soprattutto superata la quota di 6 m dal piano campagna; alle quote di -3.4, 4.2, 5.6 e 6.2 m sono presenti degli intervalli di alcuni centimetri prevalentemente sabbiosi, in tali livelli si concentrano le vie preferenziali di scorrimento delle acque di falda. |
| CPT 2 | |
| 0,0 m – 1,0 m | ORIZZONTE A : terreno agrario superficiale di natura prevalentemente limosa. |
| 1,0 m – 2,4 m | ORIZZONTE B : limo argilloso localmente plastico con bassa resistenza all'avanzamento di punta. |
| 2,4 m – 7,8 m | ORIZZONTE C : limo sabbioso tendenzialmente a grana fine limoso argillosa nella porzione più superficiale, dalla quota di 6.0 m la granulometria tende ad aumentare verso il campo delle sabbie fini. |
| CPT 3 | |
| 0,0 m – 1,2 m | ORIZZONTE A : terreno agrario superficiale. |
| 1,2 m - 2,4 m | ORIZZONTE B : litologia limoso argillosa plastica. |
| 2,4 m – 6,0 m | ORIZZONTE C : limoso sabbioso maggiormente argilloso nella sua porzione più superficiale, ciò attribuisce al litotipi modesti valori di coesione. |
| 6,0 m – 7,8 m | ORIZZONTE D : sabbia limosa con intercalazioni argillose, i valori di resistenza laterale tendono ad annullarsi in profondità. Probabile vecchia linea di riva. |

Le prove penetrometriche sono state confrontate con la stratigrafia rilevata durante l'esecuzione di un sondaggio a carotaggio continuo posto all'interno dell'area, eseguito in data 14.05.2010, con sonda di tipo Hydra modello Joy3 carrocingolata con le seguenti caratteristiche:

- Il sondaggio è stato eseguito a carotaggio continuo con aste diam 76 mm.
- Carotiere semplice diam. 101 mm I
- Avanzamento a secco

La stratigrafia è riportata nella colonna allegata.

Le litologie rinvenute ed i loro spessori danno conferma dell'interpretazione delle prove penetrometriche eseguite.



Le litologie nel complesso confermano l'analisi geologica geomorfologica che identifica nell'area una deposizione litoranea con apporti sedimentari di materiale molto fine dai retrostanti rilievi collinari.

Dopo uno spessore di suolo agrario, si rinviene un litologia limoso argillosa plastica seguita da una deposizione litoranea con maggiori percentuali di sabbia dalla quota di 6,0 m dal piano campagna attuale. Dalle prove eseguite, alla zona si può attribuire il seguente modello geologico – geotecnico:

- **ORIZZONTE A** – costituisce la parte più superficiale costituito in prevalenza da limo argilloso il cui spessore è pari a circa 1,2 m, in base ai valori della resistenza forniti dalle penetrometrie lo classificano in base alla compattezza come soffice/plastico.

- **ORIZZONTE B** – materiale fine frutto del trasporto idrico superficiale.

I valori prudenziali dei principali parametri geotecnici ricavati dalle prove eseguite attribuibili a questo litotipo sono:

- Peso di volume γ (t/mc) = 1.90 ÷ 1.95
- Coesione non drenata C_u (t/mq) = 3-3,5
- Angolo di attrito ϕ (°) = 0

- **ORIZZONTE C** – materiale limoso sabbioso fine frutto del trasporto idrico superficiale e dell'ingressione marina.

I valori prudenziali dei principali parametri geotecnici ricavati dalle prove eseguite attribuibili a questo litotipo sono:

- Peso di volume γ (t/mc) = 1.85 ÷ 1.90
- Coesione efficace C' (t/mq) = 0 ÷ 0,2
- Angolo di attrito ϕ (°) = 22° ÷ 25°

- **ORIZZONTE D** – materiale sabbioso.

I valori prudenziali dei principali parametri geotecnici ricavati dalle prove eseguite attribuibili a questo litotipo sono:

- Peso di volume γ (t/mc) = 1.85 ÷ 1.90
- Coesione efficace C' (t/mq) = 0
- Angolo di attrito ϕ (°) = 25° ÷ 28°

Determinazione Dei Parametri Caratteristici

Con la normativa del D.M.14/01/2008 l'analisi del sistema terreno struttura viene trattato con metodi semiprobabilistici e compare il concetto di PARAMETRI CARATTERISTICI per i parametri della resistenza al taglio del terreno, coesione e angolo di attrito interno; per **valore caratteristico** s'intende quel valore al quale è associata una prefissata probabilità di non superamento.

Data la natura prettamente coesiva dei primi metri di terreno analizzati con prove CPT si è preso in esame il valore della coesione non drenata e del peso di volume, per la successive verifiche di stabilità si è quindi assegnato il valore 0 al parametro angolo d'attrito interno. L'orizzonte D, presente lungo la verticale CPT3, che presenta inclusioni sabbiose, è stato parametrizzato con angolo d'attrito.

I valori di C_U e φ risultano da elaborazioni delle letture di campagna della resistenza laterale e di punta.

| CPT1 profondità | C_U (Kg/cmq) | CPT2 profondità | C_U (Kg/cmq) | CPT3 profondità | C_U (Kg/cmq) |
|---------------------------|----------------|---------------------------|----------------|---------------------------|----------------|
| 0,6 | 0,30 | 0,6 | 0,25 | 0,6 | 0,10 |
| 0,8 | 0,54 | 0,8 | 0,40 | 0,8 | 0,60 |
| 1 | 0,45 | 1 | 0,30 | 1 | 0,45 |
| 1,2 | 0,45 | 1,2 | 0,54 | 1,2 | 0,30 |
| 1,4 | 0,57 | 1,4 | 0,54 | 1,4 | 0,57 |
| 1,6 | 0,60 | 1,6 | 0,57 | 1,6 | 0,57 |
| 1,8 | 0,67 | 1,8 | 0,60 | 1,8 | 0,64 |
| 2 | 0,75 | 2 | 0,60 | 2 | 0,60 |
| 2,2 | 0,70 | 2,2 | 0,57 | 2,2 | 0,67 |
| 2,4 | 0,78 | 2,4 | 0,70 | 2,4 | 0,64 |
| 2,6 | 0,87 | 2,6 | 0,85 | 2,6 | 0,64 |
| 2,8 | 0,98 | 2,8 | 0,91 | 2,8 | 0,70 |
| 3 | 1,13 | 3 | 0,80 | 3 | 0,78 |
| 3,2 | 0,98 | 3,2 | 0,95 | 3,2 | 0,82 |
| 3,4 | 0,91 | 3,4 | 1,10 | 3,4 | 0,85 |
| 3,6 | 0,87 | 3,6 | 1,00 | 3,6 | 0,91 |
| 3,8 | 0,91 | 3,8 | 0,91 | 3,8 | 0,93 |
| 4 | 0,70 | 4 | 0,95 | 4 | 0,91 |
| 4,2 | 0,98 | 4,2 | 0,80 | 4,2 | 0,64 |
| 4,4 | 1,10 | 4,4 | 0,85 | 4,4 | 0,89 |
| 4,6 | 1,07 | 4,6 | 1,03 | 4,6 | 1,10 |
| 4,8 | 1,00 | 4,8 | 0,98 | 4,8 | 1,10 |
| 5 | 0,98 | 5 | 1,07 | 5 | 1,03 |
| 5,2 | 1,10 | 5,2 | 1,13 | 5,2 | 1,03 |
| 5,4 | 1,30 | 5,4 | 1,10 | 5,4 | 1,00 |
| 5,6 | 1,17 | 5,6 | 1,17 | 5,6 | 1,13 |
| 5,8 | 1,27 | 5,8 | 1,13 | 5,8 | 1,27 |
| 6 | 1,63 | 6 | 1,17 | 6 | 1,53 |
| 6,2 | 1,93 | 6,2 | 1,57 | | |

| | | | |
|-----|------|-----|------|
| 6,4 | 1,67 | 6,4 | 1,83 |
| 6,6 | 1,53 | 6,6 | 1,93 |
| 6,8 | 1,23 | 6,8 | 1,83 |
| 7 | 1,53 | 7 | 1,13 |
| 7,2 | 1,03 | 7,2 | 1,23 |
| 7,4 | 1,23 | 7,4 | 1,53 |
| 7,6 | 1,03 | 7,6 | 1,43 |
| 7,8 | 0,93 | 7,8 | 0,97 |

| CPT3 profondità | φ° |
|--------------------|-----------------|
| 6 | 34,00 |
| 6,2 | 35,00 |
| 6,4 | 34,00 |
| 6,6 | 34,00 |
| 6,8 | 35,00 |
| 7 | 33,00 |
| 7,2 | 34,00 |
| 7,4 | 32,00 |
| 7,6 | 32,00 |
| 7,8 | 32,00 |

Dalle prove eseguite, alla zona si può attribuire il seguente modello geologico – geotecnico:

- **ORIZZONTE A** – costituisce la parte più superficiale costituito in prevalenza da limo argilloso il cui spessore è pari a circa 1,2 m, in base ai valori della resistenza forniti dalle penetrometrie lo classificano in base alla compattezza come soffice/plastico.

$$C_{U\text{medio}} = 0,44 \text{ Kg/cmq} \quad C_{UK} = 0,27 \text{ Kg/cmq} \quad \gamma_k = 1.85 \text{ t/mc}$$

- **ORIZZONTE B** – materiale fine frutto del trasporto idrico superficiale.

$$C_{U\text{medio}} = 0,68 \text{ Kg/cmq} \quad C_{UK} = 0,54 \text{ Kg/cmq} \quad \gamma_k = 1.85 \text{ t/mc}$$

- **ORIZZONTE C** – materiale limoso sabbioso fine frutto del trasporto idrico superficiale e dell'ingressione marina.

$$C_{U\text{medio}} = 1,15 \text{ Kg/cmq} \quad C_{UK} = 0,68 \text{ Kg/cmq} \quad \gamma_k = 1.85 \text{ t/mc}$$

- **ORIZZONTE D** – materiale sabbioso.

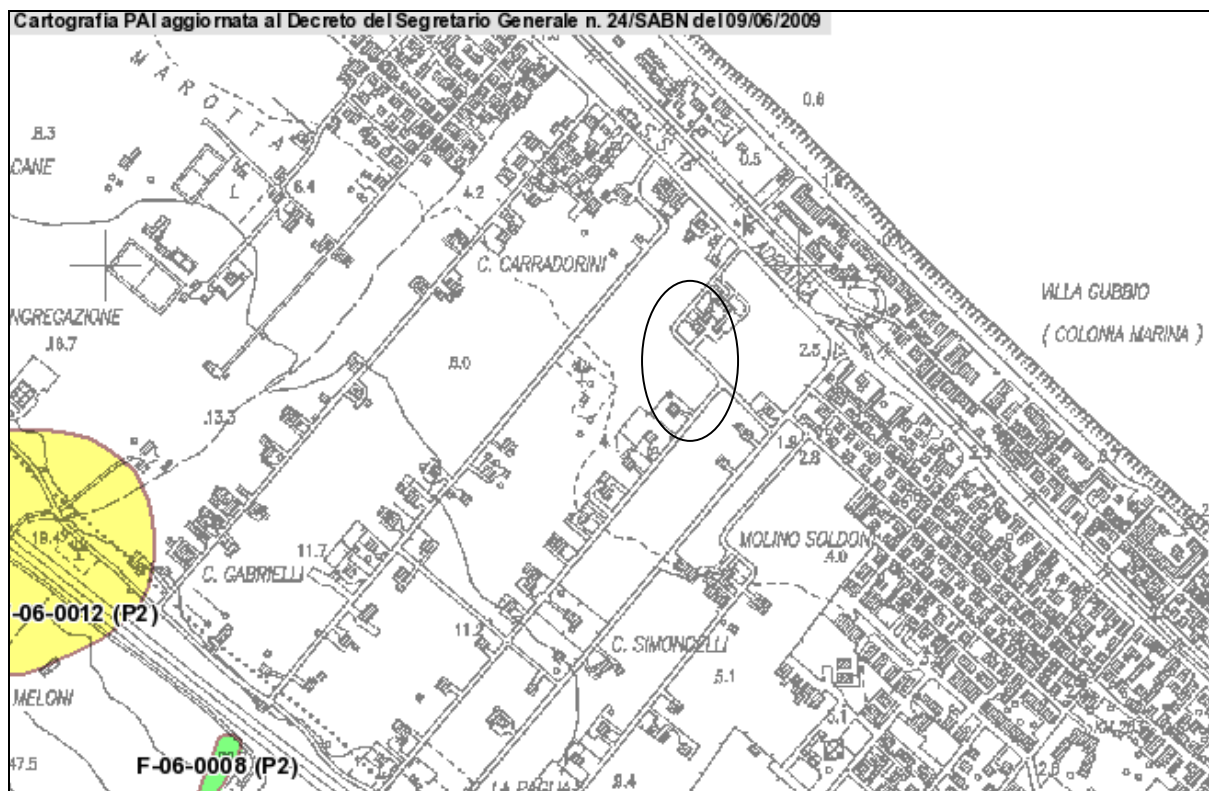
I valori prudenziali dei principali parametri geotecnici ricavati dalle prove eseguite attribuibili a questo litotipo sono:

$$C_k' = 0 \text{ Kg/cmq} \quad \varphi_{\text{medio}} = 32,7^\circ \quad \varphi_k = 30^\circ \quad \gamma_k = 1.85 \text{ t/mc}$$

4. ANALISI DEI VINCOLI PRESENTI NELL'AREA

Piano Di Assetto Idrogeologico

Il Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Marche non individua nell'area in oggetto dissesti in atto o potenziali.



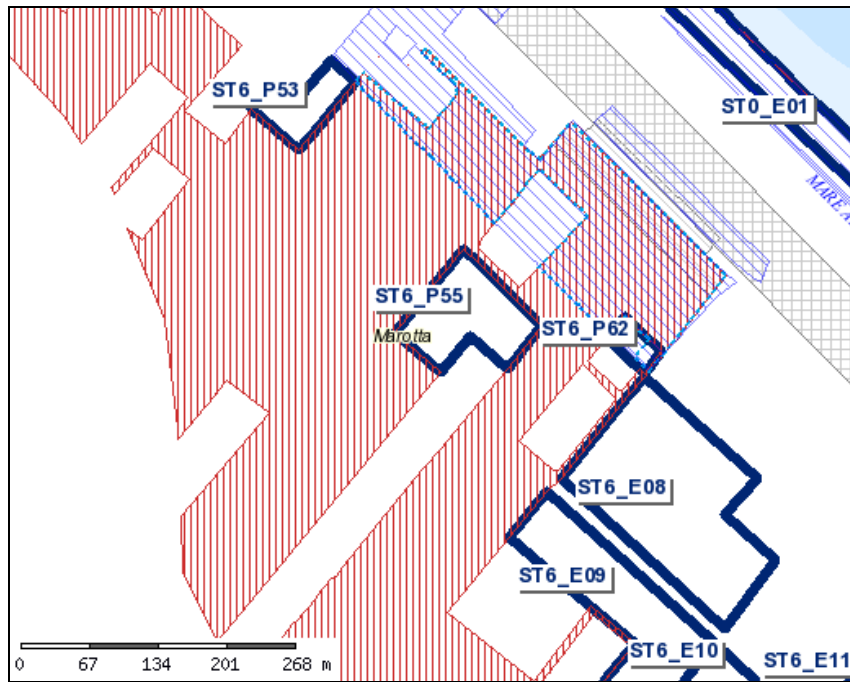
Stralcio PAI

Vincoli Di Prg

Non sono presenti vincoli legati a pozzi e/o sorgenti, la fascia che individua i 300 m dal litorale marino (*art. 11 N.T.A. – Sistema paesistico ambientale*) non interessa l'area in oggetto.

art. 7 N.T.A. – Sistema paesistico ambientale – Aree soggette a pericolosità geologica idrogeologica e sismica.

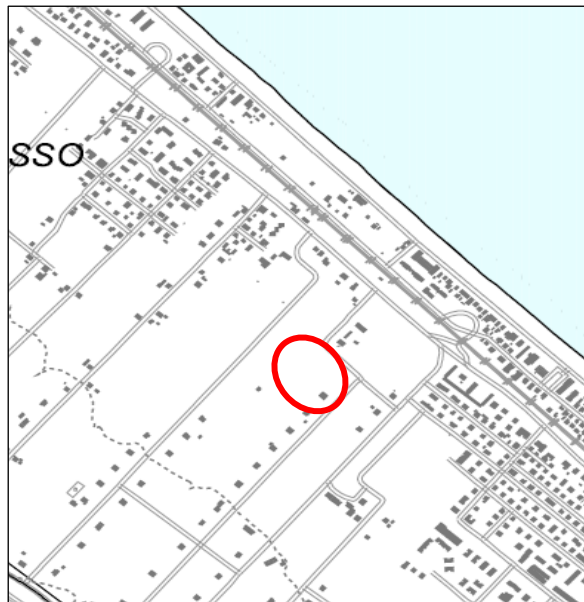
L'area retinata riportata in figura (pagina seguente) individua zone a tutela orientata in cui in terreni granulari la falda sia ad una profondità inferiore o uguale a 5 m dal piano campagna.




Stralcio di PRG

Carta Delle Pericolosità Geologiche

Il sito non presenta alcun tipo di pericolosità geologica come da cartografia di PRG di seguito allegata.

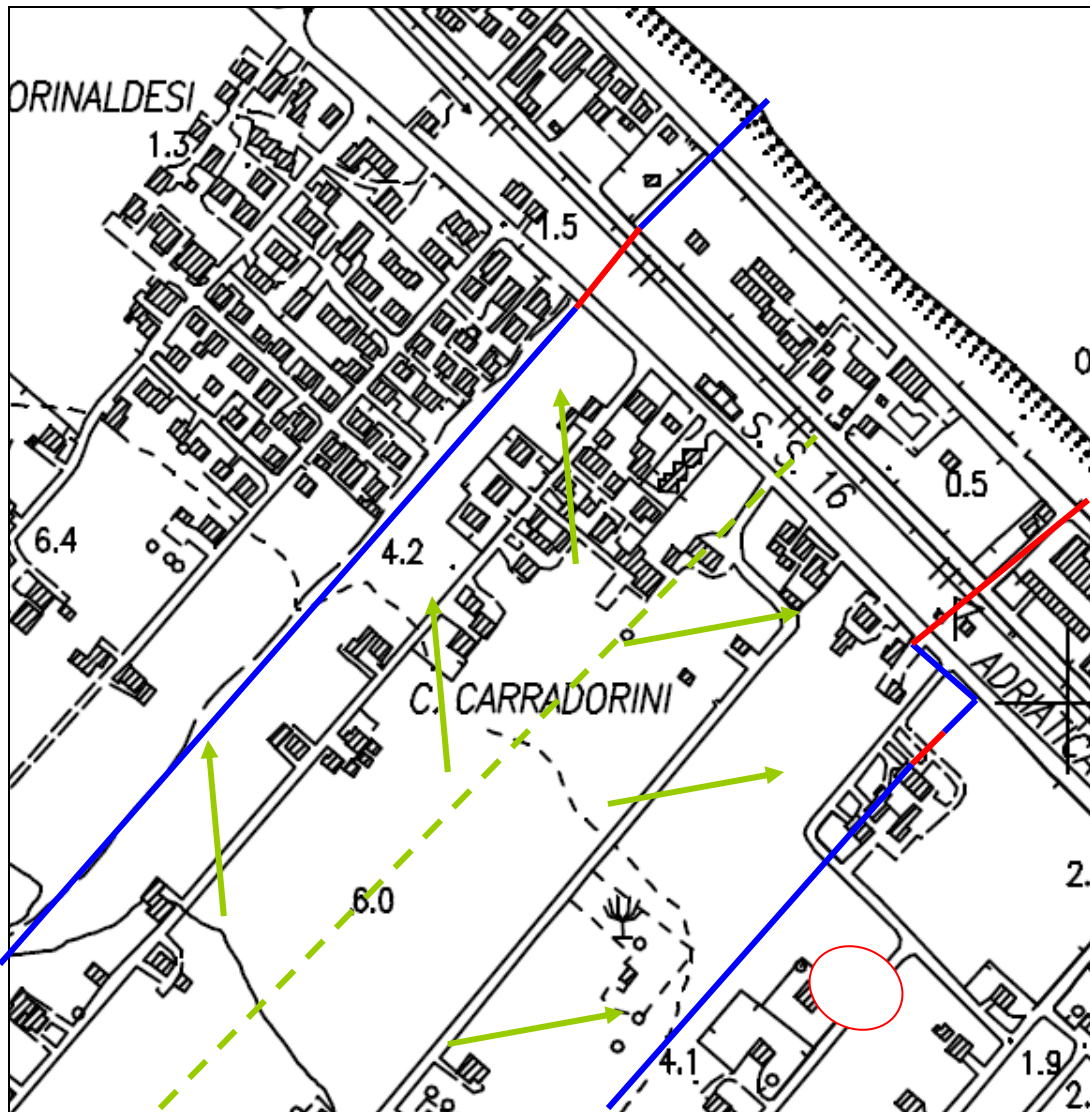





 *Area in oggetto*



Stralcio PRG "Pericolosità geologiche e geomorfologiche"

Carta Idrografica

Sono ricostruite le principali vie d'acque con il recapito finale in mare. In direzione sud est l'urbanizzazione è elevata e non sono stati rilevati fossi pubblici.

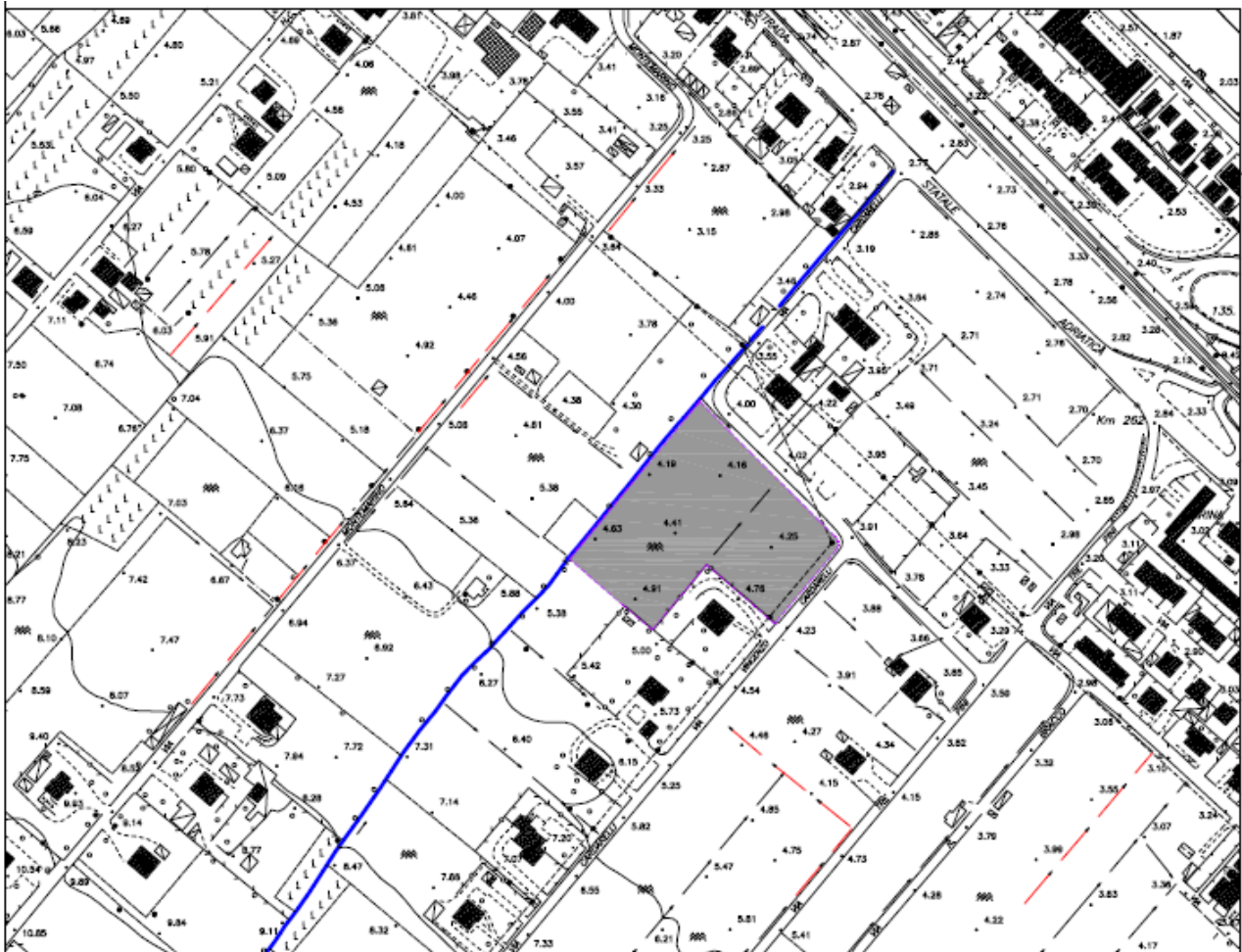


-  Tratto a cielo aperto
-  Spartiacque
-  Linee di deflusso

-  Tratto tombinato
-  Area in studio

Carta Geomorfológica

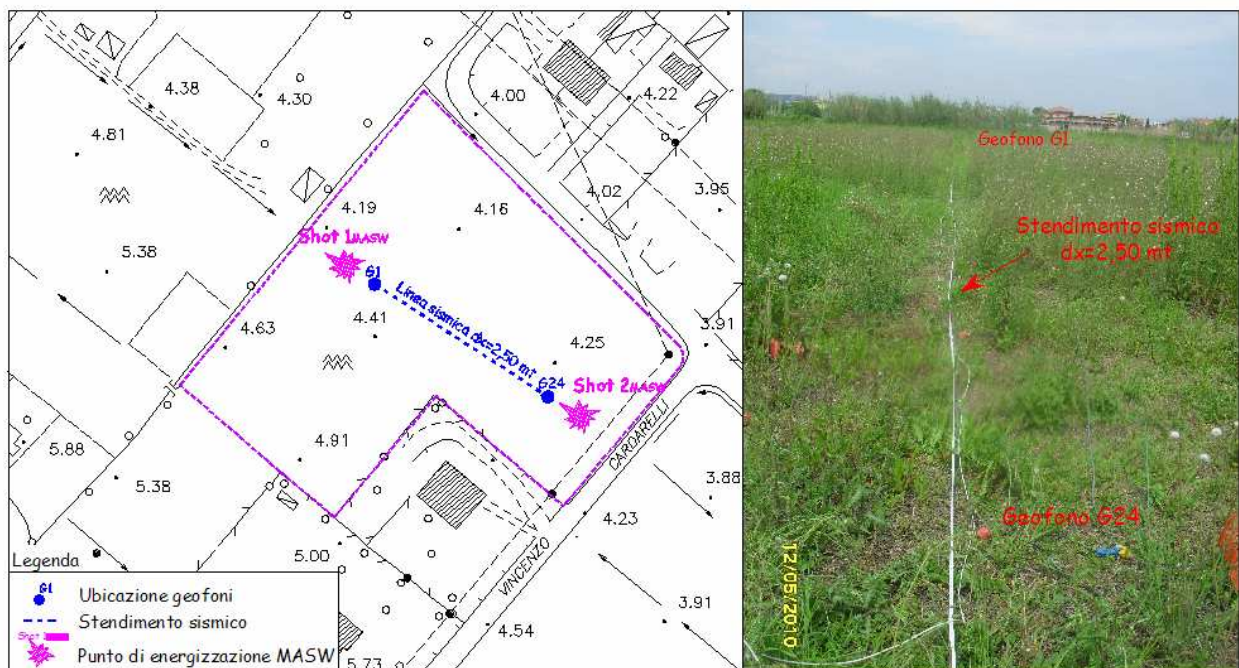
Nella figura seguente è prodotta la carta geomorfologica con individuazione dell'area in studio. Non emergono strutture geomorfologiche ad eccezione del fosso pubblico posto a confine dell'area ed altre linee di regimazione delle acque superficiali.



5. CONSIDERAZIONI SULLA FATTIBILITA' DEL PROGETTO

Azione Sismica

Per la determinazione dei parametri sismici, per la caratterizzazione del sottosuolo e la determinazione delle coltri di copertura sono state condotte indagini di tipo MASW con la collaborazione della ditta Servizi Sismici di Sassoferrato, la relazione tecnica prodotta è riportata in allegato.



Ubicazione dello stendimento sismico.

L'indagine sismica di tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) si basa sulla propagazione delle onde di superficie rayleigh. Si utilizza uno stendimento lineare di geofoni ed il terreno viene energizzato attivamente attraverso una massa battente.

Le caratteristiche degli strumenti utilizzati, la metodologia e l'acquisizione dei dati sono riportati in maniera esaustiva nel rapporto di indagine eseguito dalla Ditta "Servizi Sismici" di Sassoferrato (AN) e allegato alla presente relazione di cui fa parte integrante.

L'interpretazione geofisica individua il modello geofisico dell'area distinguendo le unità geofisiche, a cui si associano intervalli di valore di V_p e V_s e dei relativi parametri elastici.

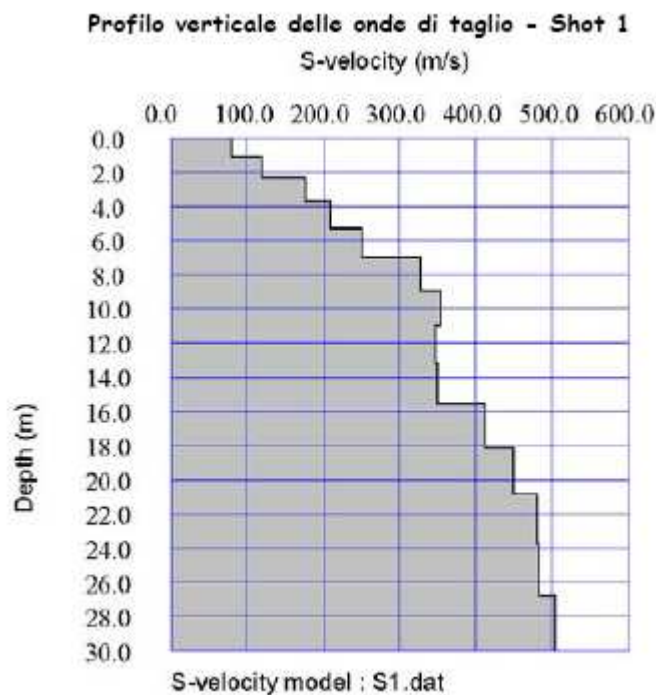
La velocità delle onde di massa dipende dai parametri elastici dei mezzi attraversati che sono a loro volta influenzati da numerosi fattori quali la compattezza o il grado di litificazione, la porosità,

la tessitura, il grado di alterazione e/o fratturazione, la composizione mineralogica, il contenuto di fluidi, ecc.. Una corretta determinazione della velocità delle onde di massa (V_p e V_s) consente quindi di ricavare i moduli elastici dinamici che caratterizzano il mezzo in cui si propaga la perturbazione ed ottenere informazioni circa la sua natura e il tipo di risposta alle sollecitazioni dinamiche.

I risultati forniti dall'indagine sismica MASW effettuata permettono di caratterizzare al meglio l'area d'indagine. Gli stessi definiscono la categoria di suolo del sito, in base ai valori di VS_{30} calcolati a partire dal p.c. fino a 30 m di profondità.

Ai fini della definizione della azione sismica di progetto, ai sensi del TU sulle Costruzioni D.M. 14/01/2008 (paragrafo 3.2.2 Categorie di sottosuolo), deve essere valutata l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie.

Tale classificazione è basata sui risultati della prova MASW descritta nei paragrafi precedenti.



Dal profilo verticale monodimensionale delle V_s sopra riportato si evince un progressivo aumento della velocità di propagazione delle onde di taglio sino alla profondità di 7,00 mt circa dal p.c., oltre la quale il valore di V_s diviene pressoché costante sino a 16,00 mt circa dal p.c.; oltre quest'ultima profondità la velocità delle onde di taglio riprende a crescere gradualmente sino alle profondità indagate.

| Profondità (mt) | hi (mt) | Vi (m/s) | hi/Vi | Vs ₃₀ (m/s) |
|-----------------|---------|----------|--------|---|
| 0.00 ÷ 1.07 | 1,07 | 79 | 0,0135 | Vs ₃₀ = 294 m/s Categoria di sottosuolo "C" |
| 1.07 ÷ 2.31 | 1,24 | 120 | 0,0103 | |
| 2.31 ÷ 3.71 | 1,40 | 177 | 0,0079 | |
| 3.71 ÷ 5.27 | 1,57 | 210 | 0,0075 | |
| 5.27 ÷ 7.01 | 1,73 | 251 | 0,0069 | |
| 7.01 ÷ 8.90 | 1,90 | 328 | 0,0058 | |
| 8.90 ÷ 10.96 | 2,06 | 354 | 0,0058 | |
| 10.96 ÷ 13.19 | 2,23 | 348 | 0,0064 | |
| 13.19 ÷ 15.58 | 2,39 | 349 | 0,0068 | |
| 15.58 ÷ 18.13 | 2,55 | 413 | 0,0062 | |
| 18.13 ÷ 20.85 | 2,72 | 450 | 0,0060 | |
| 20.85 ÷ 23.74 | 2,88 | 480 | 0,0060 | |
| 23.74 ÷ 26.79 | 3,05 | 484 | 0,0063 | |
| 26.79 ÷ 30.00 | 3,21 | 503 | 0,0064 | |

$\Sigma hi/Vi = 0,1019$

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

| Categoria | Descrizione |
|-----------|---|
| A | <i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di Vs,30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m. |
| B | <i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT,30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu,30 > 250 kPa nei terreni a grana fina). |
| C | <i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT,30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu,30 < 250 kPa nei terreni a grana fina). |
| D | <i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT,30 < 15 nei terreni a grana grossa e cu,30 < 70 kPa nei terreni a grana fina). |
| E | <i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s). |

L'area analizzata può essere inclusa nella CATEGORIA C.

Per quanto concerne eventuali influenze dell'assetto topografico sull'azione sismica le NTC distinguono le categorie sotto riportate.

Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche

| Categoria | Caratteristiche della superficie topografica |
|-----------|---|
| T1 | Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ |
| T2 | Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$ |
| T3 | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$ |
| T4 | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$ |

La zona esaminata appartiene ad una CATEGORIA TOPOGRAFICA T1.

Verifiche Di Stabilità Globali

STATO ATTUALE

Lo stato attuale del sito è completamente pianeggiante e si ritiene che non sussistano condizioni di pendio da verificare con indagini di stabilità.

STATO DI PROGETTO

Il progetto in esame non prevede movimenti terra che vadano ad alterare sostanzialmente l'attuale profilo topografico. In fase di realizzazione delle opere l'alterazione momentanea del profilo del piano campagna è da attribuire agli sbancamenti, necessari alla realizzazione dei piani interrati, che si ipotizzano nella quota di circa 2.4 m dall'attuale piano campagna.

Si è indagato quindi un profilo generico, dato l'andamento pianeggiante del sito, con uno sbancamento di 2,4 m dall'attuale piano campagna. Le verifiche dei pendii vengono condotte agli SLV considerando i valori caratteristici e considerando il pendio come fronte di scavo, la verifica viene pertanto condotta secondo l'approccio 1 combinazione 2 utilizzando quindi degli opportuni fattori di riduzione dei parametri caratteristici:

strato 1

$C_{UK} 0,27 \text{ Kg/cm}^2$

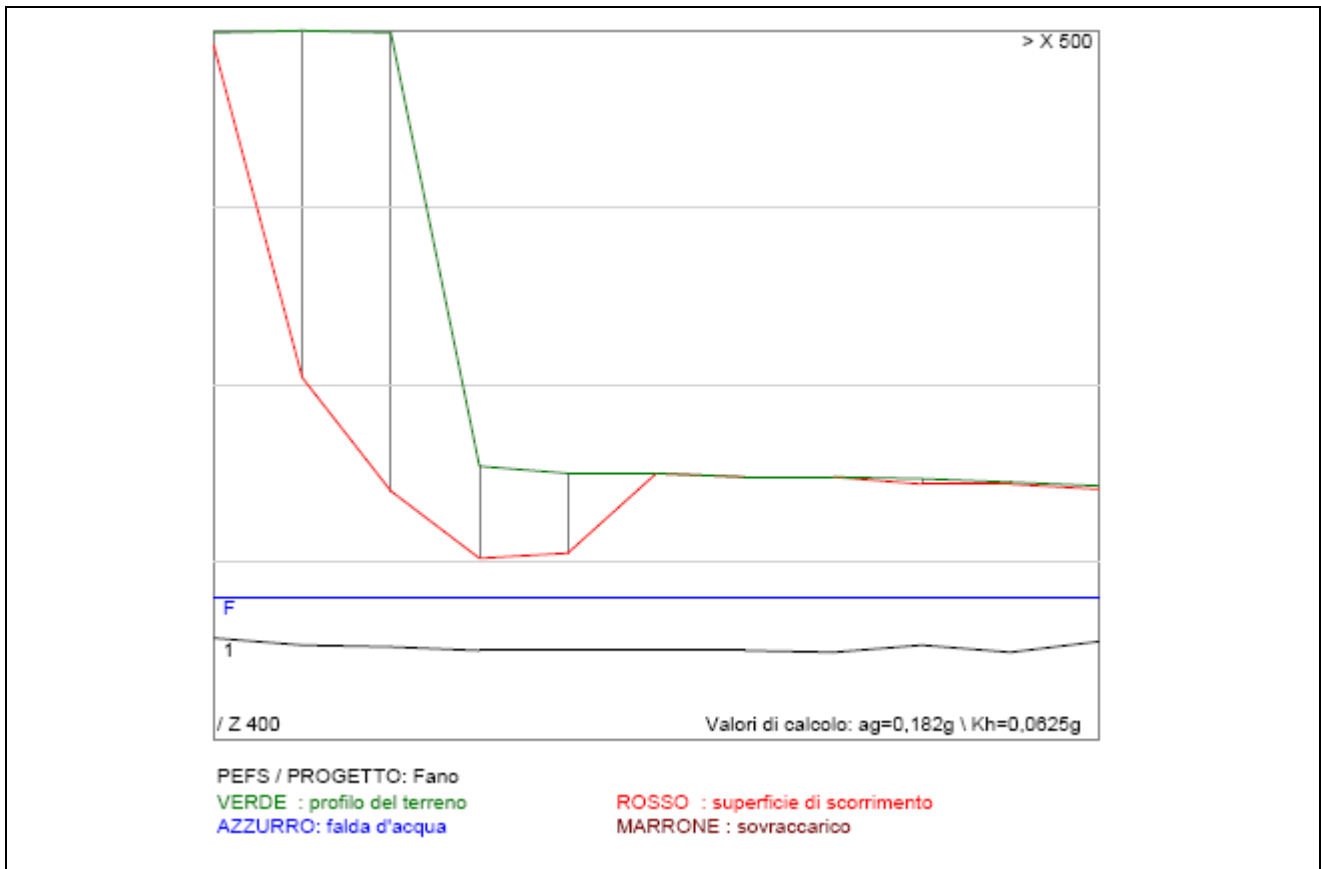
$\gamma_K 1,85 \text{ t/m}^3$

Il programma di calcolo utilizzato è PEFS che può eseguire l'analisi di stabilità considerando l'effetto pseudo statico delle forze sismiche in conformità alla vigente normativa D.M. 14/01/2008 e Circolare 617/2009.

Durante la procedura di calcolo, vista l'analisi a breve termine utilizzando i valori di coesione non drenata risulta ininfluente la posizione della falda freatica, che è comunque stata inserita alla quota di -3.2 m dall'attuale piano campagna.

Per le specifiche tecniche della procedura di calcolo e dell'individuazione di una superficie critica di scorrimento si rimanda al paragrafo 4 dei tabulati di calcolo allegati di seguito.

Il coefficiente minimo di resistenza del pendio individuato con superfici circolari secondo il metodo di Bishop è stato >4 , tale valore identifica come stabile il pendio in studio modificato come da progetto.



Tabulati di Calcolo

1. NORME DI CALCOLO E UNITA' DI MISURA

I calcoli vengono eseguiti in osservanza alle vigenti Leggi ed in particolare del D.M. 14 Gennaio 2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni)

Si usano in modo congruente le seguenti unita' di misura del S.I.:
Forze [daN] - Lunghezze [cm]

2. DATI SISMICI

Riferimenti: Long.13,12249\Lat.43,77815\Vn=50.\CL=2.\VR=50.\TR=475\ecc.

| | |
|--|----------|
| Zona sismica | 2 |
| Categoria del suolo | C |
| Accelerazione orizzontale sismica su suolo A, a_g .. | 0,182g |
| Fattore amplificazione massima su suolo A, F_o | 2,469 |
| Fattore stratigrafico, $1 < S_s = 1,7 - 0,6 F_o * a_g / g < 1,5$ | 1,430385 |
| Fattore di amplificazione topografico, S_t | 1 |
| Coefficiente correttivo dell'azione sismica, β_s ... | 0,24 |
| Accelerazione sismica massima, $a_{max} = a_g * S_s * S_t$ | 0,260 |
| Accelerazione sismica di calcolo, $K_h = \beta_s * a_{max}$ | 0,063 |
| Accelerazione sismica verticale, $K_v = K_h / 2$ | 0,031 |
| Coeff. di sicurezza ai parametri geotecnici, Y_M ... | 1,1 |
| Coeff. di sicurezza parziale per le azioni, Y_F | 1 |

3. DATI STRATIGRAFICI

Y_t = peso specifico del terreno (daN/cm³)

$\phi'k$ = angolo di attrito efficace caratteristico del terreno (gradi)

$c'k$ = coesione caratteristica del terreno (daN/cm²)

| Strato n. | Y_t | $\phi'k$ | $c'k$ |
|-----------|----------|----------|-------|
| 1 | 0,001850 | 0,00 | 0,27 |

Posizione degli strati

| Sez. | X | Zs1 | Zs2 | Zs3 | Zs4 | Zs5 | Zs6 |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 0 | 343 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 50 | 347 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 100 | 348 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 150 | 350 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 200 | 350 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 250 | 350 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 300 | 350 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 350 | 351 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 400 | 347 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 450 | 351 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 500 | 345 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

4. IPOTESI, METODI, CODICI DI CALCOLO

La procedura di calcolo fa riferimento al metodo:
Bishop.

Le ipotesi del calcolo considerano essenzialmente:

- che l'instabilità per slittamento possa avvenire secondo una superficie cilindrica a generatrici orizzontali;
- che la risultante delle forze d'interconco sia orizzontale.

Le equazioni d'equilibrio utilizzate si riferiscono alle forze normali alla base dei conci ed all'equilibrio globale dei momenti (con braccio pari al raggio della superficie cilindrica media di scorrimento).

Il programma può valutare la stabilità della scarpata o del pendio in presenza di filtrazione o semisommerso in condizioni drenate o non drenate.

In condizioni non drenate si considera solo il contributo coesivo a breve termine $c=c_u$, essendo ininfluenti eventuali falde d'acqua. In tal caso le azioni tangenti sulla base dei conci, sono indipendenti dallo sforzo normale, per cui essendo il problema isostatico non sono necessarie le ipotesi poste per le azioni mutue sui lati verticali.

Il procedimento è iterativo fino alla convergenza.

Il calcolo si riferisce a conci di lunghezza e altezza qualsiasi, spessore 1 cm.

Il coefficiente di resistenza si esprime con il rapporto tra i momenti o le forze resistenti di progetto e quelle attive di progetto:

$$YR = Rd / Ed$$

avendo per ogni concio:

$$N = W+Sa - [c*L*\text{sen}(\beta) + U*\text{tan}(\varnothing)*\text{sen}(\beta)] / YR / \{ \cos(\beta) + [\text{sen}(\beta)*\text{tan}(\varnothing)] / YR \}$$

si ottiene:

$$Rd = \text{sum}[(N-U)*\text{tan}(\varnothing) + c*L]$$
$$Ed = \text{sum}[(W+Sa)*\text{sen}(\beta)] + \text{sum}(SS)$$

Le sommatorie sono estese a tutti gli <n> conci.

In ogni caso si assume:

YR = coefficiente di sicurezza parziale di resistenza
YM = coefficiente di sicurezza parziale geotecnico
YF = coefficiente di sicurezza parziale per le azioni
 β = angolo di pendenza della base del concio
L = lunghezza della base del concio
h = altezza del concio di terreno di scorrimento
hw = altezza colonna d'acqua sopra il pendio (scarpate sommerse)
u = altezza di terreno immerso dalla base del concio
dx = $L/\cos(\beta)$, lunghezza orizzontale del concio
c'k = coesione caratt. alla base del concio (cu-per ver. a breve termine)
c = $c'k/YM$, coesione di calcolo
 $\varnothing'k$ = angolo di attrito interno effettivo, caratt. alla base del concio
 \varnothing = $\text{Atn}(\varnothing'k/YM)$, angolo di attrito di calcolo
Yt = peso/volume saturo terreno del concio
Ya = peso/volume acqua (0.001 daN/cm^3)
q = carico esterno verticale/superficie sul concio
W = $(Yt*h+q)dx$, peso agente sulla base del concio
Sa = $(Ya*hw)dx$, sovraccarico colonna acqua sopra il pendio (scarpate sommerse)

U = $(u+hw)Ya*L$, forza interstiziale dell'acqua alla base del concio
 SS = $W*Kh$, forza orizzontale sismica su ogni concio

5.1 SUPERFICIE DI SCORRIMENTO CRITICA

Si verifica per la seguente superficie critica di scorrimento:

x = posizione della sezione nel sistema di riferimento prescelto X-Z
 za = quota del pendio nel sistema di riferimento X-Z
 zb = quota base sezione scorrimento
 zu = quota falda d'acqua

| Sezione n. | x(cm) | za(cm) | zb(cm) | zu(cm) |
|------------|-------|--------|--------|--------|
| 1 | 0 | 1 | 8 | 320 |
| 2 | 50 | 0 | 196 | 320 |
| 3 | 100 | 1 | 260 | 320 |
| 4 | 150 | 246 | 298 | 320 |
| 5 | 200 | 250 | 295 | 320 |
| 6 | 250 | 250 | 250 | 320 |
| 7 | 300 | 252 | 252 | 320 |
| 8 | 350 | 252 | 252 | 320 |
| 9 | 400 | 253 | 256 | 320 |
| 10 | 450 | 255 | 256 | 320 |
| 11 | 500 | 257 | 259 | 320 |

5.2 SUPERFICIE DI SCORRIMENTO CRITICA

Si considerano i seguenti valori in asse dei conci:

dx = lunghezza orizzontale del concio
 L = $dx/\cos(\beta)$, lunghezza della base del concio
 h = altezza del concio
 hw = altezza sovraccarico colonna d'acqua sopra il pendio (scarpate sommerse)
 u = altezza d'acqua dalla base del concio (u=0=assenza di falda d'acqua)
 ϕ = angolo di attrito di calcolo sulla base del concio
 β = angolo di inclinazione della base del concio
 c = coesione di calcolo sulla base del concio
 q = sovraccarico esterno sul concio

| Concio n. | sez. i - j | dx cm | L cm | h cm | hw cm | u cm | ϕ gradi | β gradi | c daN/cm ² | q daN/cm ² |
|-----------|------------|-------|------|------|-------|------|--------------|---------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | 1 - 2 | 50 | 194 | 102 | 0 | 0 | 0,00 | 75,12 | 0,25 | 0,00 |
| 2 | 2 - 3 | 50 | 81 | 228 | 0 | 0 | 0,00 | 52,01 | 0,25 | 0,00 |
| 3 | 3 - 4 | 50 | 62 | 156 | 0 | 0 | 0,00 | 37,24 | 0,25 | 0,00 |
| 4 | 4 - 5 | 50 | 50 | 48 | 0 | 0 | 0,00 | -3,43 | 0,25 | 0,00 |
| 5 | 5 - 6 | 50 | 67 | 22 | 0 | 0 | 0,00 | -41,99 | 0,25 | 0,00 |
| 6 | 6 - 7 | 50 | 50 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 2,29 | 0,25 | 0,00 |
| 7 | 7 - 8 | 50 | 50 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,25 | 0,00 |
| 8 | 8 - 9 | 50 | 50 | 2 | 0 | 0 | 0,00 | 4,58 | 0,25 | 0,00 |
| 9 | 9 - 10 | 50 | 50 | 2 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,25 | 0,00 |
| 10 | 10 - 11 | 50 | 50 | 2 | 0 | 0 | 0,00 | 3,44 | 0,25 | 0,00 |

6. R I S U L T A T I D E L L' A N A L I S I

Indicando con:

Rd = forze resistenti

Ed = forze motrici

Si ottengono i seguenti risultati, per spessore 1 cm dei conci:

| Concio n. | W daN | Sa daN | U daN | c*L daN | SS daN | Rd daN | Ed daN |
|--------------|----------|-----------|----------|------------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 9,54 | 0,00 | 0,00 | 47,62 | 0,60 | 47,62 | 9,37 |
| 2 | 21,20 | 0,00 | 0,00 | 19,88 | 1,33 | 19,88 | 17,53 |
| 3 | 14,51 | 0,00 | 0,00 | 15,22 | 0,91 | 15,22 | 9,50 |
| 4 | 4,54 | 0,00 | 0,00 | 12,27 | 0,28 | 12,27 | 0,01 |
| 5 | 2,12 | 0,00 | 0,00 | 16,45 | 0,13 | 16,45 | -1,32 |
| 6 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 8 | 0,28 | 0,00 | 0,00 | 12,27 | 0,02 | 12,27 | 0,04 |
| 9 | 0,28 | 0,00 | 0,00 | 12,27 | 0,02 | 12,27 | 0,02 |
| 10 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 12,27 | 0,01 | 12,27 | 0,02 |

Sommando, si ha globalmente:

Forza resistente, Rd 148,25

Forza attiva motrice, Ed 35,16

Rd - Ed = 113,09 daN

pertanto risulta:

Coeff. di resistenza del pendio, YR = Rd/Ed = 4,216

Risulta: YR > 1,1

Modalità Esecutive Degli Sbancamenti

Le indagini realizzate (sondaggio a carotaggio continuo e prove CPT) hanno confermato la presenza della falda alla quota di -3.2 m dal piano campagna. Tale misurazione è stata effettuata dopo un periodo di intensa piovosità che, nei primi 5 mesi dell'anno 2010, ha presentato un'intensità di precipitazioni nettamente superiore al periodo di riferimento storico rilevato dal 1961 al 2009.

Nel foro di sondaggio si è osservata una risalita del livello piezometrico sino a -0.8 m dal piano campagna a fine sondaggio. Tale fenomeno è indice di una pressione operante sul piano di falda dovuto alla presenza di orizzonti impermeabili presenti nei primi metri di terreno.

Dove gli sbancamenti non supereranno le altezze di 1.5 m non sarà necessario alcun puntellamento, negli altri punti le pareti dovranno essere presidiate o, in alternativa, si dovrà procedere per conci e gettare le murature perimetrali con il procedere dello scavo.

Nell'assetto finale della lottizzazione saranno presenti dei modesti riporti, presidati dai muretti di cinta dei giardini privati, che serviranno ad armonizzare nell'intero contesto l'arredo del verde. Nella tavola seguente si è cercato di schematizzare quelle che saranno le superfici interessate da sbancamento, per la realizzazione dei piani interrati, e quelle destinate ad aree di verde privato dove verranno effettuati dei riporti di terreno vegetale per la realizzazione dei giardini.

L'elevazione in quota dei giardini consentirà di rendere completamente interrato il piano garage, sebbene le quote di sbancamento effettivo raggiungano la misura di -1,8/-2,2 m circa dall'attuale piano campagna.

Nelle intenzioni del progettista c'è quindi la volontà di non andare ad intercettare il piano di falda e di mantenere un franco sufficiente tra la quota di falda ed il fondo del piano di sbancamento, nell'eventualità che ciò, per esigenze costruttive in corso d'opera, non dovesse avvenire, si raccomanda la messa in opera di un impianto di tipo well points per garantire la depressione della falda.

Pericolosità idraulica

Nel presente paragrafo si è proceduto ad una verifica del fosso demaniale posto al confine dell'area sopra menzionata con un software che permette l'analisi in moto permanente delle portate di piena.

Il fosso demaniale detto di "Monte Barile" è posto al confine nord dell'area di lottizzazione, esso raccoglie le acque di scorrimento superficiale di un bacino che parte dai rilievi collinari posti a monte del sito, attraversa il tracciato autostradale con uno scatolare e si immette sulla pianura alluvionale con uno sviluppo rettilineo ed una lunghezza, sino al tratto in studio, di circa 950 m.



Scatolare di attraversamento autostrada



Fosso a valle dell'autostrada

Vista la presenza di tratti tombinati immediatamente a valle del punto di immissione delle acque provenienti dall'area in attuazione si è valutato, in via preliminare, se le opere presenti siano in grado di smaltire le acque raccolte dal fosso e proporre eventuali misure di mitigazione.

Si è quindi proceduto ad un calcolo delle altezze di pioggia attese nell'area con tempo di ritorno pari a 50, 100 e 200 anni su un bacino che racchiude il fosso sin dal rilievo collinare posto a monte del sito. I dati riguardano le precipitazioni di durata pari a 1h, 3h, 6h, 12h 24h misurate a Fano in un arco temporale che va dal 1970 al 2007, le misurazioni sono quindi state elaborate statisticamente con il metodo di Gumbel. Un'analisi di questo tipo ha restituito altezze di pioggia, per vari tempi di ritorno, pari a:

| Tr | | t =24 ore |
|----------|-------|-----------|
| 50 anni | H max | 48,81 mm |
| 100 anni | H max | 53,70 mm |
| 200 anni | H max | 58,57 mm |

Introducendo i dati morfologici del bacino si è ricavato il tempo di corrivazione pari a 0,86 h (Giandotti) e quindi le massime portate attese esemplificate nella tabella seguente.

| Tr | | |
|----------|-------|-----------|
| 50 anni | Q max | 2,65 mc/s |
| 100 anni | Q max | 2,92 mc/s |
| 200 anni | Q max | 3,18 mc/s |

Nel suo percorso semipianeggiante il fosso è caratterizzato da una sezione piuttosto ampia, immediatamente a valle dell'autostrada, per poi restringersi mano a mano procedendo in direzione mare. Lungo il suo corso è stato possibile accertare la presenza di almeno due tratti tombinati, sino alla proprietà in esame, costituiti da tubi circolari in cemento del diametro di 0,8 m.



Tratto tombinato posto a confine dell'area (sez. HECRAS 4.25)

Raccolti i dati sulla morfologia generale del corso d'acqua si è proceduto ad una ricostruzione analitica per poter analizzare il comportamento del fosso in situazioni di piene del bacino con tempi di ritorno di 50, 100 e 200 anni analizzando il sito con la semplificazione del moto permanente.

Il moto permanente o stazionario nei corsi d'acqua si ha quando in ogni punto della massa fluida in moto le caratteristiche di velocità, densità e pressione non variano nel tempo ma solo da punto a punto, si suppone che la portata sia costante, cioè senza immissioni o perdite significative nel tratto verificato.

Per l'analisi si è fatto ricorso al software "Hec Ras rel. 4.1.0", sviluppato dall'US Army Corps of Engineers; per la determinazione del profilo del pelo libero tra una sezione e la successiva è stata imposta come condizione la risoluzione dell'equazione dell'energia.

$$h_2 + z_2 + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} = h_1 + z_1 + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} + h_e$$

dove:

- h_1 e h_2 sono le altezze d'acqua riferite al fondo dell'alveo;
- Z_1 e Z_2 sono le altezze del fondo rispetto ad una quota di riferimento (livello del mare);
- V_1 e V_2 sono le velocità medie della corrente nelle due sezioni estreme del tronco fluviale considerato;
- α_1 e α_2 sono coefficienti di ragguglio
- h_e è la perdita di carico tra le due sezioni considerate.

Il programma di calcolo richiede l'immissione di dati per permettere una ricostruzione topografica del sito, una definizione delle condizioni al contorno, in questo caso si è scelto la *Normal depth* (pendenza nel tratto considerato) e quindi procedono al calcolo dell'altezza critica del pelo libero, delle velocità e delle perdite di carico per attrito.

Per la descrizione geometrica dell'alveo sono state utilizzate le sezioni trasversali ricavate dal piano quotato e dal rilievo aerofotogrammetrico del Comune di Fano.

In totale sono state inserite n. 10 sezioni numerate in senso decrescente da monte verso valle (vedi allegato), le sezioni sono state quindi infittite nel numero con una funzione particolare di HecRas che ne permette l'interpolazione.

Si è proceduto, durante sopralluoghi, alla verifica ed alla misurazione di tratti tombinati presenti nell'intorno significativo del sito in studio. Tali tombinature sono state riportate nel software nelle sezioni denominate 7.5 e 4.25.

Utilizzando il software HecRas si è invece ricavata un'altezza del pelo libero del corso d'acqua, in concomitanza di piene dovute ad eventi meteorici con tempo di ritorno pari a 200 anni, di 4.33 m sl.m. in corrispondenza della sezione 5. La modellazione evidenzia quindi una probabile esondazione del fosso in tali condizioni per un'altezza di circa 17 cm ipotizzata in virtù dello stato di manutenzione dell'attuale corso.

Si allega una rappresentazione cartografica delle aree soggette a possibile esondazione.

Misure di Mitigazione

Nell'analisi del fosso sono emerse delle criticità da imputare alla ridotta sezione a valle della proprietà ed alla presenza di tombamenti, probabilmente non autorizzati dall'autorità idraulica.

Nelle intenzioni dei progettisti c'è la volontà di non aggravare lo stato di fatto con l'attuazione del comparto, ma vista la necessità di recapitare in un recettore idrico le acque di pioggia provenienti dal comparto in progetto si propongono le seguenti misure di mitigazione idraulica per la salvaguardia degli edifici.

Sarà cura delle amministrazioni competenti la verifica della legittimità dei tombamenti presenti ed i conseguenti provvedimenti da adottare.

Per meglio comprendere le misure proposte si vogliono chiarire alcuni dati:

- Quota della falda -3,2 m dal piano campagna, misurata durante l'esecuzione di un carotaggio continuo il 14.05.2010
- 8.950 mq attuale superficie coltivata che, in occasione di eventi meteorici, recapita le acqua nel fosso in questione.
- Le acque meteoriche raccolte da Via Cardarelli nel tratto confinante con la proprietà vengono attualmente indirizzate dalle pendenze al fosso suddetto.
- 2.060 mq superficie gestita dal sistema fognario acque bianche di cui: 1.773 mq superficie occupata da viabilità nella nuova lottizzazione e 287 mq superficie costituita da parcheggi che potrebbero essere resi permeabili.

L'attuazione del progetto ridurrà notevolmente in percentuale la superficie le cui acque meteoriche gravano sul fosso.

Si propone un **riutilizzo delle acque piovane captate all'interno di ciascun lotto** per l'irrigazione ed il riutilizzo nei servizi igienici, fanno esclusione le acque captate negli scivoli dei garage che verranno indirizzate in fogna nera.

Le acque che pesano sui **1.773 mq della viabilità** saranno gestite da un sistema fognario che prevede una **vasca di raccolta del volume di 20 mc e 12 mc di inerzia del sistema di tubi e tombini**; pertanto i primi 20 mc non recapiteranno mai nel fosso ma saranno indirizzati alle fogne nere, il sistema di tubature garantirà una inerzia del sistema nel rilascio dell'acqua raccolta per ogni evento meteorico.

Il piano campagna verrà riprofilato con un innalzamento delle quote dei lotti ad un franco di +0,5 m dalla massima altezza prevista di massima piena con tempo di ritorno pari a 200 anni evidenziate dallo studio idraulico con data settembre 2010 e novembre 2010:

- Le quote di "sbarco" per **l'accesso ai piani interrati sono considerate in 4.80 m.s.l.m.** in corrispondenza della sezione 5 HEC RAS **5.02 m s.l.m.** in corrispondenza della sezione 5.03 HEC RAS.
- **Una quota di 5.3 m s.l.m. per i piani terra degli edifici**
- **La quota assoluta della lottizzazione in corrispondenza di quella che sarà l'area scolastica dovrà essere di 5.21 m s.l.m.** (sezione HECRAS 5.06).

Si prevede **la realizzazione di una fascia di ambito esclusivo del fosso con destinazione a verde pubblico**: tale fascia avrà una larghezza di 14 m, in corrispondenza dell'area a destinazione scolastica e 10 m in corrispondenza del lotto residenziale e del parcheggio.

La funzione principale di tale spazio è quella di costituire una area di naturale laminazione per piene del fosso che avranno così spazio per defluire senza arrecare danno agli edifici limitrofi, sarà possibile accedere al fosso per eseguire la sua periodica pulizia e manutenzione, il demanio e l'autorità idraulica avranno inoltre, in prospettiva, l'opportunità di avere spazi sufficienti per l'adeguamento e la riprofilatura eventuale del fosso senza dover eseguire espropri di proprietà privata. L'ambito fluviale potrà essere adeguatamente arredato favorendone così una fruizione pubblica.

Tutte le misure di mitigazione del rischio idraulico qui sinteticamente riportate sono meglio esplicitate nella tavola di progetto.

In fase esecutiva si provvederà a **richiedere autorizzazione al competente ufficio provinciale per l'immissione delle acque bianche nel fosso**: in tale occasione, nel progetto esecutivo si prevedranno opportune opere anti erosione per salvaguardare le sponde del fosso, precisando già in tale sede che l'immissione avverrà a valle dell'attuale tombamento di cui alla sezione 4.5 HEC-RAS. Nei lavori di urbanizzazione il fosso verrà ripulito liberando la sezione idraulica da erbe e canne provvedendo nell'occasione, previa autorizzazione dell'autorità demaniale, alla demolizione del tombamento presente tra le sezioni 5.03 e 5.0 HEC-RAS.

6. CONCLUSIONI

Le previsioni edilizie in progetto sono state valutate e confrontate con l'assetto geologico geomorfologico idraulico del sito e del suo intorno significativo. I luoghi, sino ad ora, sono stati utilizzati per scopi agricoli.

Le principali problematiche geologiche geotecniche analizzate hanno messo in evidenza quanto segue:

- Nella zona non sono presenti dissesti idrogeologici, fenomeni gravitativi attivi o quiescenti che possano interferire con le opere in progetto.
- Le indagini condotte (prove penetrometriche, sondaggio a carotaggio continuo e prova sismica MASW) hanno posto in evidenza come un rischio sismico identificabile con la presenza della falda a quote inferiori a -5,0 m dal piano campagna.
- Il sistema idrografico costituisce un potenziale rischio idraulico per l'area attuale, sono state elencate e descritte alcune opere di mitigazione che portano a minimizzare il potenziale rischio relativamente alle opere in progetto; si raccomanda comunque di mantenere in efficienza il fosso e di far sì che la sezione sia pulita regolarmente e non presenti ostruzioni.
- Dai dati provenienti dal rilevamento della falda freatica è evidente che si dovrà porre particolare attenzione ad evitare infiltrazione di acque inquinate nel sottosuolo per non compromettere lo stato attuale della falda.

Fatte salve le prescrizioni e le misure di mitigazione indicate nelle pagine del presente elaborato si ritiene che il progetto sia compatibile con l'assetto del sito.

Fano, 12/07/2011

Geol. Laura Pelonghini