

**COMUNE DI PITIGLIANO**

**PROVINCIA DI GROSSETO**

**REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO IDROELETTRICO CON  
DERIVAZIONE DAL TORRENTE MELETA SENZA SOTTENSIONE  
D'ALVEO IN LOCALITA' VIA CAVA DI FRATENUTI**

***RELAZIONE GEOLOGICA***

***VERIFICA DEL RISCHIO IDRAULICO***

Committente: CENTRO APPALTI Srl

Progetto: Ing. Gianluca Calzini



**Santa Fiora, 24 novembre 2016**

**Dott. Geol. ANDREA IRSARA**

Educatore ambientale - Tecnico del paesaggio

Via Poggio Lombardo, 10 - 58030 Santa Fiora (Grosseto)

Tel. 0564.95.30.21 - 349.09.07.326

Cod.fisc. RSR NDR 64A12 A952Y - P.IVA 00876220526

## INDICE

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>pag. 2</b>
<b>2. INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA .....</b>	<b>pag. 3</b>
2.1. Inquadramento topografico	
2.2. Inquadramento giuridico (vincoli e ambiti territoriali)	
2.3. Condizioni di fattibilità dell'intervento	
<b>3. INDAGINE GEOLOGICA .....</b>	<b>pag. 5</b>
3.1. Inquadramento geologico	
3.2. Lineamenti geomorfologici	
3.3. Successione litostratigrafica locale	
3.4. Circolazione idrica superficiale e sotterranea	
<b>4. MODELLAZIONE GEOTECNICA .....</b>	<b>pag. 8</b>
4.1. Caratterizzazione geotecnica del sottosuolo	
4.2. Parametri di verifica delle azioni sismiche	
4.3. Movimenti di terreno	
4.4. Verifiche di stabilità di sito	
<b>5. VERIFICA DEL RISCHIO IDRAULICO .....</b>	<b>pag. 13</b>
5.1. Modalità e criteri di calcolo	
5.2. Verifiche idrauliche	
<b>ALLEGATI</b>	
Elaborati cartografici, documentazione fotografica e documentazione geotecnica	
<b>6. CONCLUSIONI .....</b>	<b>pag.16</b>

## 1. PREMESSA

La presente relazione riferisce sulle risultanze di un'indagine geologica e geotecnica effettuata per un appezzamento di terreno, presso il quale si prevede la costruzione di una micro centrale idroelettrica (potenza < 100 kW), consistente nelle opere di derivazione dal corso d'acqua Torrente Meleta con costruzione di un locale tecnico completamente interrato con volume di circa 60 mc, sviluppo planimetrico di circa 25 mq e altezza inferiore a 3 m, per l'alloggiamento dell'impianto e per la restituzione delle acque derivate allo stesso corso d'acqua, in prossimità di una briglia fluviale esistente con altezza di circa 8 m.

L'opera in progetto, che implica interventi limitati sul terreno senza costruzioni fuori terra che possono costituire ostacolo alle acque superficiali, né modifiche alla sezione d'alveo, rientra nelle definizioni di cui alle norme del Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Grosseto, delle classi di destinazione d'uso del territorio: A – 3) Nuovi interventi – strutture per liquidi non inquinanti e B-4) Infrastrutture nodali - Energetiche.

Secondo le norme tecniche per le costruzioni, di cui al D.M. 14.01.2008, le opere in progetto rientrano nella definizione di opere ordinarie (tipologia 2: opere infrastrutturali) con classe d'uso II (costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente), in riferimento al D.P.G.R. 36/R/2009 e successivo documento esplicativo ed applicativo, l'opera in progetto appartiene alla classe d'indagine 1, riferita alle opere di volume lordo inferiore a 150 mc.

Nella classificazione EC7 l'opera in progetto appartiene alla categoria geotecnica 1: piccoli scavi per posa di condutture e manufatti o edifici leggeri, di servizio di strutture a rete, poco sensibili ai cedimenti e di classe 1: costruzioni “normali” senza importanti conseguenze in termini di rischio per l'ambiente o per la pubblica incolumità.

Le finalità che l'indagine si propone sono rivolte alla definizione dell'assetto geologico, idrogeologico, geomorfologico e idraulico dell'area d'imposta delle condotte, allo scopo di stabilire sulla base dei dati geognostici in possesso e di nuova acquisizione, gli elementi indispensabili per la valutazione della compatibilità tra l'opera ed il contesto geologico ambientale, con particolare riguardo all'assetto sforzo-deformazione del terreno in funzione delle proprie caratteristiche geotecniche, e alle caratteristiche idrologiche e idrauliche del corso d'acqua oggetto di derivazione con completa restituzione.

A tale scopo, le indagini sui terreni e le relative risultanze di carattere geologico, vengono condotte secondo la normativa vigente in materia, con particolare riferimento alle prescrizioni di cui al D.M.LL.PP. 14.01.2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni) e Circ. Min. 617/2009, tenuto conto delle istruzioni tecniche per le indagini geologiche e geotecniche nelle zone soggette a rischio sismico, definite con D.G.R.T. 431/2006 e D.G.R.T. 878/2012, di cui al D.P.G.R. 36/R/2009 e al D.P.G.R. 58/R/2012, del “Programma Valutazione degli Effetti Locali” della Regione Toscana in applicazione della L.R. 56/1997, e delle condizioni di pericolosità e fattibilità definite dallo strumento urbanistico in vigore e dalle Norme di Piano Assetto Idrogeologico (Autorità di Bacino Fiume Fiora), in ottemperanza alle Norme del Piano di Coordinamento Territoriale della Provincia di Grosseto, e di governo del territorio della L.R. 1/2005 e successive modifiche, di cui alla L.R. 65/2014.

## 2. INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA

### 2.1. Inquadramento topografico

L'area d'intervento è situata nel territorio comunale di Pitigliano (Provincia di Grosseto), lungo il corso d'acqua Fosso Meleta circa 300 m a est rispetto alla confluenza al Fiume Lente e 200 m a ovest rispetto al centro abitato del capoluogo, in località Cava di Fratenuti, a valle della Strada Provinciale denominata "Pian della Madonna".

Nella Carta topografica d'Italia l'area si trova alla tavoletta NE del IV quadrante del foglio 136, nella cartografia tecnica regionale al Foglio 332 – 2 in scala 1:25.000 ed Elemento 332.160 in scala 1:10.000, con coordinate geografiche in proiezione EPSG 25832: latitudine (Y) 4.723.514, longitudine (X) 718.174.

### 2.2. Inquadramento giuridico (vincoli e ambiti territoriali)

L'area oggetto d'intervento, censita alle particelle n. 253 e 255 del Foglio n. 32 della Mappa Catastale del Comune di Pitigliano, è sottoposta ai seguenti vincoli territoriali.

Vincolo paesaggistico in riferimento al R.D. 1497/1939 e alla let. c dell'art. 142 del D.Lgs. 42/2004

Vincolo idrogeologico ai sensi della L.R. 39/2000, in riferimento al R.D. 3267/1923

Zona sismica 3 (fascia B) ai sensi della D.G.R.T. 431/2006 e D.G.R. 878/2012.

Con riferimento alla Carta della proposta di perimetrazione del VINCOLO IDROGEOLOGICO della Provincia di Grosseto di cui alla Del.C.P. 58/1999, la zona appartiene a "Aree in ambito A", corrispondente a Pericolosità geomorfologica irrilevante e Pericolosità idrogeologica media.

Secondo le Norme del PIANO ASSETTO IDROGEOLOGICO (Autorità di Bacino del Fiume Fiora), ai sensi della L. 183/1989 e D.C.R. 67/2006, con riferimento alla carta di adeguamento al P.A.I. del Piano Strutturale, la zona d'intervento è classificata come "Aree di pertinenza fluviale" come definite all'art. 8, mentre non risulta interessata da aree definite a Pericolosità Idraulica e Pericolosità da Frana Elevata (P.I.3, P.F.3) o molto Elevata (P.I.4, P.F.4).

Riguardo agli ambiti di RISCHIO IDRAULICO di cui alla Del.C.R. 230/1994 e Del.C.P. 30/1999, il corso d'acqua "Fosso Meleta" è iscritto in elenco con solo ambito A e codice GR 1402, l'area risulta interna all'ambito A di "Assoluta pertinenza", trovandosi nella fascia compresa tra i cigli di sponda e adiacente per una larghezza minima di 10 m rispetto il ciglio di sponda.

Con riferimento alle INDAGINI GEOLOGICO-TECNICHE sviluppate, secondo la normativa di cui al D.P.G.R. 26/R/2007 e successiva modifica e integrazione secondo il D.P.G.R. 53/R/2011 per il Piano Strutturale del Comune di Pitigliano, si hanno per l'area in oggetto, le seguenti classi dei singoli elementi di pericolosità, costituenti nel complesso il rischio geologico ambientale.

Pericolosità Geologica sismica elevata di classe G.3

Pericolosità Idraulica bassa di classe I.1 in area di pertinenza fluviale

Area con assenza di problematica idrogeologiche (permeabilità media per porosità primaria)

## 2.3. Condizioni di fattibilità dell'intervento

Secondo le definizioni dell'intervento riportate in premessa, con riferimento alle norme del Piano Territoriale di Coordinamento provinciale e del Regolamento Urbanistico, tenuto conto del tipo di intervento che rientra nella definizione di riferimento per l'applicazione del DPGR 26/R/2007 di “nuovi edifici e ampliamenti < 50 mq e altri interventi che comportino modesti sovraccarichi sul terreno e/o sulle fondazioni (tipo 4)”, risultano le seguenti condizioni di fattibilità per la realizzazione delle opere in progetto, in relazione ai singoli elementi di pericolosità del territorio.

### Fattibilità con normali vincoli – classe F.2

Si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali è necessario indicare la tipologia di indagini e/o specifiche prescrizioni ai fini della valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia.

### Rischio geologico - sismico

Nelle situazioni caratterizzate da pericolosità geologica e sismica elevata possono essere realizzati quegli interventi per i quali venga dimostrato che non determinano condizioni di instabilità e che non modificano negativamente i processi geomorfologici presenti nell'area: della sussistenza di tali condizioni deve essere dato atto nel titolo abilitativo all'attività edilizia. Nel caso di zone suscettibili di instabilità di versante quiescente, sono realizzate indagini geofisiche e geotecniche per le opportune verifiche di sicurezza e per la corretta definizione dell'azione sismica; tali indagini sono in ogni caso da rapportare al tipo di verifica, all'importanza dell'opera e al meccanismo del movimento del corpo franoso.

### Rischio idraulico

Nelle situazioni caratterizzate da pericolosità idraulica media per gli interventi di nuova edificazione e per le nuove infrastrutture possono non essere dettate condizioni di fattibilità dovute a limitazioni di carattere idraulico. Qualora si voglia perseguire un maggiore livello di sicurezza idraulica, possono essere indicati i necessari accorgimenti costruttivi per la riduzione della vulnerabilità delle opere previste o individuati gli interventi da realizzare per la messa in sicurezza per eventi con tempo di ritorno superiore a 200 anni, tenendo conto comunque della necessità di non determinare aggravii di pericolosità in altre aree.

Rispetto alla adeguatezza con le prescrizioni di cui all'art. 8 delle norme P.A.I., le aree di pertinenza fluviale possono essere oggetto di atti di pianificazione territoriale per previsioni edificatorie non diversamente localizzabili, subordinando l'attuazione delle stesse alla preventiva o contestuale esecuzione di interventi di messa in sicurezza per eventi con tempo di ritorno di 200 anni risultante da idonei studi idrologici e idraulici, acquisito il parere favorevole dell'Ente competente; tali interventi, non devono incrementare il livello di rischio in altre aree e non aumentare i picchi di piena a valle.

Riguardo alla appartenenza dell'area d'intervento all'ambito A di cui alla D.C.R. 230/1996, definito di assoluta protezione del corso d'acqua, sono consentite le opere idrauliche o di attraversamento del corso d'acqua, gli interventi trasversali di captazione e restituzione delle acque, e gli adeguamenti di infrastrutture esistenti senza avanzamento verso il corso d'acqua a condizione che si attuino le precauzioni necessarie per la riduzione del rischio idraulico relativamente alla natura dell'intervento.

In riferimento al D.P.G.R. 36/R/2009, l'intervento rientra in classe d'indagine 1 con le seguenti prescrizioni: sono sufficienti considerazioni di natura geologica, geofisica e geotecnica basate su indagini, da allegare in copia al progetto, già eseguite in prossimità dell'intervento o desunte da studi già compiuti e pubblicati con riferimento alle aree interessate. Tali considerazioni sono adeguatamente motivate, giustificate ed argomentate e sono compiute anche in presenza di problematiche di versante.

### 3. RELAZIONE GEOLOGICA

#### 3.1. Inquadramento geologico

L'area oggetto d'intervento a quota 710 m slm, è localizzata in prossimità della sponda destra del corso d'acqua Fosso Meleta, affluente del Torrente Lente, nel bacino idrografico del Fiume Fiora.

L'assetto geologico della Regione è riconducibile a un regime a carattere distensivo di zona di retroarco, seguito alla fase di corrugamento della catena appenninica a partire dal Tortoniano superiore (8 – 7 Ma), che ha provocato l'assottigliamento della crosta continentale, dando così luogo a fenomeni ignei intrusivi ed effusivi, ai quali è ascrivibile l'attività del gruppo vulcanico dei Monti Vulsini.

L'area oggetto di studio appartiene all'affioramento dei sedimenti piroclastici prodotti dall'attività effusiva a carattere esplosivo di tale gruppo vulcanico datata in un periodo compreso tra 0.5 e 0.2 Ma e facente parte della Regione Comagmatica Romana. Le formazioni affioranti nell'area per un intorno significativo, sono pertanto costituite da litologie pleistoceniche di origine vulcanica, sulle quali giacciono in discordanza lungo le maggiori incisioni fluviali, depositi continentali olocenici di origine alluvionale.

In particolare, l'area oggetto d'intervento è costituita esclusivamente dalla seguente formazione litologica dei depositi tufacei che caratterizzano il margine occidentale della caldera di Latera.

##### FORMAZIONE DI CANINO (sigla CAN)

La formazione è composta da alternanze in orizzonti e lenti stratificate di predominanti tufi gialli a pomici chiare e grigie, sabbie e limi ghiaiosi tufacei cementati con ceneri diagenizzate e lapilli neri, e con sottili intercalazioni di rocce tefritiche e leucitiche. Lo spessore della complessiva formazione di origine vulcanica varia da zona a zona in funzione dell'assetto morfologico antecedente le effusioni vulcaniche, dai dati bibliografici disponibili si può comunque affermare che nell'area tale spessore è compreso tra 30 e 70 m.

Dal punto di vista geostrutturale non si rinvencono nell'area discontinuità tettoniche, né sistemi di faglie interessanti la coltre vulcanica descritta, i più vicini contatti stratigrafici si rilevano circa 50 m verso monte dove sono presenti estesi affioramenti verticali della formazione vulcanica denominata "formazione di Sorano" che caratterizza il sottosuolo del centro abitato del capoluogo.

#### 3.2. Lineamenti geomorfologici

Il terreno oggetto d'intervento si trova lungo la scarpata compresa tra la viabilità principale a monte e la sponda in destra idrografica del corso d'acqua oggetto della derivazione a valle; il pendio presenta una altezza limitata con gradiente di pendenza intorno al 30 % a profilo irregolare, con dislivello di 20 m e sviluppo longitudinale di circa 60 m, delimitato alle quote maggiori da un pianoro in quota e quindi da un fronte roccioso verticale dove affiora la sovrastante formazione litologica descritta.

Tale pendio è caratterizzato dalla presenza di terreni di riporto che costituiscono in parte il rilevato stradale e da terreni di copertura sabbiosi affioranti in successive piccole scarpate intervallate a fasce di terreno pianeggiante, derivanti dalla originaria morfologia del territorio costituita da tipici terrazzamenti fluviali in funzione della elevata erodibilità della formazione geologica costituente il sottosuolo.

Dalle osservazioni in sito effettuate, la ristretta area oggetto d'intervento risulta stabile con il fattore maggiormente predisponente alla stabilità consistente nella presenza dell'ammasso roccioso tufaceo affiorante o prossimo al piano di campagna come si rileva lungo lo scavo esistente realizzato per la derivazione delle acque dal torrente al vecchio mulino la cui attività è cessata da molti anni.

Al contrario nelle aree adiacenti al tratto di pendio oggetto d'intervento si rilevano evidenze di fenomeni erosivi severi e diffusi con solchi di erosione nei terreni di copertura e circoscritte zone interessate da fenomeni di dissesto idrogeologico con slittamenti recenti e quiescenti della coltre superficiale, che hanno portato alla luce il sottostante substrato roccioso consistente.

Nella parte più vicina al corso d'acqua la scarpata termina con un fronte verticale costituito dalla formazione litoide descritta, in parte protetto da vecchie opere di sostegno e contenimento in elementi litoidi scarsamente cementati, che appare stabile come conferma l'assenza di nicchie di distacco o fessurazioni arcuate lungo l'orlo della stessa sponda fluviale.

Per quanto esposto si ritiene che l'area oggetto di intervento sia da considerarsi stabile e non interessata da fenomeni franosi attivi o potenziali, con l'ammasso roccioso prossimo al piano di campagna che presenta buone caratteristiche di resistenza, per quanto i terreni superficiali, naturali di copertura e di riporto, si trovano in condizioni prossime allo stato di equilibrio presentando inclinazioni di valore paragonabile all'angolo di attrito o resistenza al taglio del materiale sabbioso costituente.

Per tale motivo, nelle fasi di cantiere particolare riguardo dovrà essere riposto nella mobilitazione dei terreni, in particolare prevedendo opere di sostegno provvisorie delle fronti di scavo e adeguate inclinazioni delle scarpate ottenute tramite scavo o riporto dei terreni di risulta.

L'intervento non dovrà inoltre, implicare modifiche morfologiche rilevanti all'attuale profilo del pendio, che pertanto dovrà essere ripristinato al termine dei lavori, garantendo in particolare la corretta regimazione delle acque di ruscellamento con adeguate opere di drenaggio per evitare l'originarsi di fenomeni erosivi e la saturazione dei terreni superficiali potenzialmente instabili.

### 3.3. Successione litostratigrafica locale

Il terreno costituente il sottosuolo nell'area oggetto d'intervento, è composto dalle seguenti Unità Litologico Tecniche, in base al rilevamento effettuato in sito e ai dati ottenuti dai diversi sondaggi realizzati sia appositamente nel sito di costruzione che nell'area complessiva, secondo le definizioni di cui al programma Valutazione Effetti Locali della Regione Toscana.

TERRENO DI COPERTURA – da piano campagna fino a profondità massima 4 ml

U.L.T. (programma VEL): E.3 - materiali granulari non cementati - classe: a.3 – t.1

E' composto da terreni di riporto e materiale detritico derivante dal disfacimento della formazione tufacea, con analoghe caratteristiche composizionali e strutturali, costituiti da terreno granulare fine sabbioso con ghiaia e frammenti litici, allo stato da poco a mediamente addensato ( $N_{spt} = 4 - 10$ ) con graduale miglioramento dello stato di addensamento e delle proprietà geotecniche con la profondità.

#### SUBSTRATO ROCCIOSO - sottostante

U.L.T. (programma VEL): B5 – materiale lapideo stratificato con alternanze di litotipi - classe: r.4

Dall'osservazione lungo il fronte di scavo esistente nell'area d'intervento e negli affioramenti nelle aree circostanti, si rileva in stratificazione orizzontale l'alternanza di prevalenti orizzonti litoidi marnosi a pomici chiari di elevata resistenza (classe R3 del sistema ISRM), e livelli costituiti da strati tufacei con conglomerati ignimbrici cementati a ceneri scure di spessore variabile da decimetrico a metrico classificato in generale come "litotipo semicoerente da poco a mediamente resistente" (resistenza a compressione uniassiale 25 – 50 Mpa).

Tale litotipo costituisce il terreno oggetto di scavo e di fondazione dell'opera in progetto.

### 3.4. Circolazione idrica superficiale e sotterranea

I terreni di copertura e le rocce di origine vulcanica, per porosità primaria e fessurazione, presentano un grado di permeabilità relativa medio e consentono un drenaggio interno buono con un coefficiente di infiltrazione valutato intorno al 75 % della precipitazione efficace.

Per tali condizioni, il complesso dei terreni vulcanici può essere sede di un acquifero litoide poroso e/o fessurato con buone potenzialità, dimostrate dalla produttività delle captazioni presenti nel territorio limitrofo all'interno della stessa formazione litologica stratigrafica.

Considerati i livelli piezometrici registrati nell'area e il livello idrico del sottostante corso d'acqua che si mantiene anche nel periodo di magra, la falda libera classificabile come acquifero poroso litoide, si trova a profondità minime nell'ordine di 10 m dal piano campagna, confinata alla base dal substrato a bassa o molto bassa permeabilità rappresentato dalla sottostante unità idrogeologica sempre di origine vulcanica denominata Formazione di Sovana.

Pertanto, la realizzazione delle opere in progetto e delle relative fondazioni di tipo diretto non possono comportare alcuna interferenza con la falda, né alcuna modifica al regime di deflusso sotterraneo tramite una significativa riduzione dei tempi di percolazione delle acque superficiali e del suolo verso la falda, che avviene lungo le fratture e per porosità dell'ammasso roccioso.

Con riferimento alla normativa vigente in materia di opere di derivazione per uso idroelettrico, il progetto prevede la restituzione in alveo delle acque derivate e non nel sottosuolo, non sono pertanto necessarie considerazioni riguardanti l'influenza dell'opera in progetto sull'equilibrio idrogeologico dell'area e in particolare sulle caratteristiche geometriche e qualitative della falda di subalveo lungo il corso d'acqua.



## 4. RELAZIONE GEOTECNICA

### 4.1. Caratterizzazione geotecnica del sottosuolo

I mezzi d'indagine utilizzati si ritengono adeguati rispetto alla costituzione del sottosuolo, quindi alla modellazione geologica descritta, sulla base del grado di conoscenza dell'area derivante da precedenti indagini e del rilevamento geologico effettuato, e in particolare alle finalità e caratteristiche dell'intervento, in riferimento alle prescrizioni sulla esecuzione delle indagini geotecniche di cui alla normativa citata in premessa, e alle condizioni di fattibilità definite.

In particolare, per la definizione della caratterizzazione geotecnica del sottosuolo, anche in considerazione delle difficoltà di accesso ai luoghi, sono state effettuate due prove penetrometriche dinamiche spinte fino a condizioni di rifiuto che coincidono con la presenza del substrato roccioso, i cui risultati vengono confermati dai parametri di resistenza al taglio ottenuti da sondaggi, prove in sito e di laboratorio su campioni rappresentativi, effettuati in aree limitrofe nello stesso contesto litologico.

Inoltre, per la definizione dei parametri sismici è stata realizzata una prospezione geofisica con elaborazione MASW delle onde di taglio superficiali, i cui risultati sono concordanti rispetto alle indagini recentemente effettuate a livello di quadro conoscitivo dello strumento urbanistico per la microzonazione sismica del capoluogo.

La caratterizzazione geotecnica del sito di costruzione per un intorno significativo si riferisce ai due differenti litotipi costituenti il sottosuolo descritti in precedenza, dei quali il terreno di copertura è parte costituente della scarpata e quindi viene considerato nelle verifiche di stabilità del pendio, mentre il substrato roccioso costituisce il terreno oggetto della costruzione in progetto e costituente il sottosuolo di fondazione fino a profondità sicuramente maggiori rispetto all'altezza del volume significativo.

I relativi valori caratteristici dei parametri geotecnici sono stati scelti sulla base del criterio che prescrive, secondo la normativa vigente, di cui al paragrafo C.6.2.2 della Circolare Ministeriale 617/2009, l'adozione dei valori minimi ottenuti dalle diverse prove disponibili, da applicare *nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno, con concentrazione delle deformazioni fino alla formazione di superfici di rottura nelle porzioni di terreno meno resistenti del volume significativo*.

Per il terreno di copertura riguardo le caratteristiche di resistenza e deformabilità del litotipo, la stima del coefficiente di sottofondo (kh) viene calcolata in base alla formula di Bowles, l'angolo di attrito drenato e la resistenza a compressione semplice derivano direttamente dalla resistenza di punta risultante dalle prove penetrometriche effettuate.

Per il sottostante ammasso roccioso tufaceo, viene utilizzato il criterio di classificazione di Beniaowski sulla base delle osservazioni effettuate in sito secondo le modalità di calcolo dei parametri geotecnici minimi esposte in allegato; per la stima del coefficiente di sottofondo (kh) viene utilizzata la formula di Vesic, considerando i risultati delle prove penetrometriche e delle prospezioni sismiche e i dati bibliografici disponibili.

Valori caratteristici dei parametri geotecnici terreno di copertura

Definizione	Sabbia fine debolmente ghiaiosa con frammenti litici		
Classificazione	<i>Materiale granulare, sottogruppo SM: sabbia fine con fine non plastico. Gruppo A-3, indice di gruppo: 0.</i>		
Peso di volume	$\gamma$	kN/mc	18.0
Peso di volume secco	$\gamma_d$	kN/mc	16.0
Numero di colpi prova penetrometrica	Nspt	-	4 - 10
Angolo d'attrito drenato	$\varphi'$	(°)	27
Compressione semplice	qu	daN/cm <sup>2</sup>	1.2
Coesione non drenata	c <sub>u</sub>	daN/cm <sup>2</sup>	0.6
Modulo di deformazione	E	daN/cm <sup>2</sup>	195
Modulo di reazione unitario	k <sub>h</sub>	daN/cm <sup>3</sup>	2.0

Valori caratteristici dei parametri geotecnici substrato litologico (terreno di fondazione)

Definizione	Ammasso roccioso stratificato con alternanze di litotipi		
Classificazione	<i>Qualità scadente di classe IV con indice RMR<sub>b</sub> = 42 e RMR<sub>c</sub> = 35</i>		
Peso di volume	$\gamma$	kN/mc	20.0
Peso di volume secco	$\gamma_d$	kN/mc	18.0
Numero di colpi prova penetrometrica	Nspt	-	> 50
Angolo d'attrito drenato	$\varphi'$	(°)	30
Resistenza compressione semplice	q <sub>a</sub>	daN/cm <sup>2</sup>	10
Coesione non drenata	c <sub>u</sub>	daN/cm <sup>2</sup>	1.0
Modulo di deformazione	E	daN/cm <sup>2</sup>	1200
Modulo di taglio	G	daN/cm <sup>2</sup>	440
Coefficiente di Poisson	m	-	0.35
Modulo di reazione unitario	k <sub>h</sub>	daN/cm <sup>3</sup>	13

## 4.2. Parametri di verifica delle azioni sismiche

Si riportano di seguito, i principali parametri di classificazione e sismici, secondo le prescrizioni di cui alle Norme Tecniche del D.M. 14.01.2008, sulla base delle seguenti considerazioni e criteri adottati.

La vita nominale e di riferimento (§ 2.4.1, 2.4.3) è riferita alla classificazione dell'intervento, secondo quanto esposto in premessa.

Per la categoria di sottosuolo (§ 3.2.2) sulla base delle prospezioni sismiche citate, risulta il valore per la stratigrafia che caratterizza l'area oggetto d'intervento,  $V_{s,30} = 431$  m/s, confermato dal campo di valori caratteristici per la formazione tufacea nell'area complessiva  $V_{s,30} \geq 400 - 500$  m/s dai dati bibliografici disponibili, per cui la stratigrafia è ascrivibile al sottosuolo di tipo B caratterizzato da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 360 e 800 m/s, con coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s = 1.20$ .

Per le condizioni topografiche di sito, data la morfologia del pendio di altezza limitata inferiore a 30 m, e rispetto al complessivo versante indipendentemente dalla inclinazione media, l'ubicazione nella zona al piede del pendio, l'area è definita di classe T1 con coefficiente di amplificazione topografica  $S_t = 1.00$ .

L'accelerazione sismica attesa è calcolata dal prodotto dell'accelerazione su sito di riferimento per i coefficienti sismici  $a_{max} = a_g * S_s * S_t$ , il coefficiente sismico orizzontale e verticale di riferimento per le verifiche agli stati ultimi delle fondazioni dirette è dato dalle relazioni  $k_h = \beta_s * (a_{max}/g)$  e  $k_v = \pm 0.5 * k_h$ , funzione della accelerazione massima attesa, dei tempi di ritorno considerati, quindi delle probabilità di superamento, del coefficiente di riduzione, quindi della categoria di sottosuolo.

I dati riportati sono risultati dalla applicazione del programma “Geostru PS” con riferimento all'allegato A delle NTC – 2008, secondo la media ponderata dei siti di riferimento elencati.

Sito in esame (coordinate in WGS84)		Siti di riferimento (allegato A delle NTC – 2008)			
latitudine:	42.633138	Sito 1	ID: 25170	Sito 3	ID: 24949
longitudine:	11.660988	Sito 2	ID: 25171	Sito 4	ID: 24948

### Parametri sismici (stabilità del pendio e fondazioni)

Classe:	2	Periodo di riferimento:	50anni	Categoria sottosuolo:	B
Vita nominale:	50	Coefficiente cu:	1.0	Categoria topografica:	T1

### Danno (SLD)

Probabilità:	63	%	Ss:	1,200
Tr:	50	[anni]	Cc:	1,450
ag:	0,057	g	St:	1,000
Fo:	2,496		Kh:	0,014
Tc*:	0,251	[s]	Kv:	0,007

### Salvaguardia della vita (SLV)

Probabilità:	10	%	Ss:	1,200
Tr:	475	[anni]	Cc:	1,420
ag:	0,139	g	St:	1,000
Fo:	2,478		Kh:	0,040
Tc*:	0,277	[s]	Kv:	0,020

#### 4.3. Movimenti di terreno

Riguardo ai movimenti di terreno, il progetto prevede l'esecuzione di fronti di scavo non permanenti con sbancamenti localizzati alla ristretta area d'intervento e finalizzati alla realizzazione del manufatto nonché alla necessaria pista di accesso provvisoria nelle fasi di cantiere, per un volume di terreno movimentato nell'ordine di 80 mc per le fasi di cantiere e di circa 70 mc per lo scavo oggetto della costruzione del locale tecnico completamente interrato; al termine dei lavori si prevede il ripristino dello stato dei luoghi con utilizzo dello stesso terreno di risulta degli scavi.

Per quanto esposto in merito alle caratteristiche litologiche dei terreni nell'area, le scarpate ottenute tramite scavo o riporto dovranno rispettare una inclinazione limite di valore non superiore a quello dell'angolo di attrito interno del terreno che risulta pari a  $27^\circ$ , pertanto una inclinazione  $\beta = 26.5^\circ$  corrispondente alla pendenza limite di rapporto alzata / scarpa di 1 / 2.

Per fronti di scavo a maggiore inclinazione, che risultano inevitabili data la conformazione della scarpata, si dovrà provvedere, prima degli scavi, alla realizzazione di un'opera di sostegno a carattere provvisorio, che costituirà comunque al termine dei lavori un fattore predisponente alla stabilità dei terreni retrostanti, la quale potrà essere realizzata mediante la costruzione di una paratia tipo "berlinese", con micropali di diametro e armatura adeguati, a titolo indicativo di 140 mm con armatura di 90 mm, ancorati per una profondità minima di 3 m nel substrato roccioso e collegati in testa con cordolo in calcestruzzo armato.

Riguardo ai riporti del terreno di risulta degli scavi sia per la costituzione provvisoria della rampa di accesso che per i lavori di ripristino dello stato dei luoghi nell'area circostante il manufatto in progetto, si dovrà procedere con gli opportuni accorgimenti in funzione della stabilità dei terreni stessi.

Prima del deposito dovranno essere preparate le aree d'imposta tramite scotico della fascia di terreno vegetale e realizzazione di un gradino in contropendenza lungo il piede della zona interessata, quindi i terreni di risulta degli scavi, dai quali dovranno essere separate eventuali frazioni litoidi di maggiori dimensioni, dovrà essere effettuato per fasce successive in strati di spessore non superiore a 0.5 m, con conseguente immediata azione di costipamento del terreno mediante passaggio con ruote gommate o altro idoneo sistema, in modo da assicurarne il graduale compattamento.

Al termine dei lavori, le aree interessate dovranno essere opportunamente inerbite con essenze vegetali autoctone adeguate anche in funzione della resistenza all'erosione quali graminacee e ginestre, inoltre, allo scopo di assicurare il drenaggio delle acque di ruscellamento provenienti da monte e quindi evitare fenomeni di imbibizione dei terreni dovrà essere realizzato un fosso di guardia ad andamento livellare, lungo la fascia di terreno posta a quota maggiore dell'area oggetto d'intervento.

Il terreno di risulta degli scavi in eccesso rispetto al volume riutilizzato in sito, dovrà essere trasportato in altro sito autorizzato per il deposito o smaltito in discarica secondo le prescrizioni di cui al D.Lgs. 4/2008, considerata la mancanza di aree adeguate al deposito di tali terreni lungo la scarpata oggetto d'intervento.

A tale riguardo si attesta che il materiale risultante dagli scavi è costituito da terreno naturale, senza presenza di sostanze inquinanti, dato che l'area non è interessata da lavorazioni di tipo industriale o da centri di pericolo come definiti all'art. 21 del D.Lgs. 152/2006, né dalle zone comprese nell'elenco delle aree potenzialmente inquinate, di cui al Piano di Bonifica della Regione Toscana, Provincia di Grosseto.

#### 4.4. Verifica di stabilità di sito

Riguardo alla possibilità di fenomeni di liquefazione nei terreni conseguenti all'evento sismico atteso, viene fatto riferimento alle limitazioni, verifiche e circostanze elencate al § 7.11.3.4.2 della Circ. Min. 617/2009, per cui i terreni di fondazione delle opere in progetto, data la componente lapidea, non rientrano nella composizione granulometrica dei materiali terrosi potenzialmente soggetti a fenomeni di liquefazione indotti da un evento sismico, indipendentemente dalla intensità del sisma e dalla profondità della falda.

Le verifiche di stabilità del pendio sono state effettuate utilizzando il programma di calcolo automatico denominato "Geo-Tec B ver. 7", con algoritmo di calcolo basato sul metodo di Bishop rigoroso, ritenuto rappresentativo dei fenomeni di instabilità potenziali per il pendio in oggetto.

Le condizioni di stabilità vengono indicate dalla definizione del fattore di sicurezza (Fs) dato dal rapporto tra resistenza disponibile e sforzo mobilitato, il cui calcolo viene affrontato con il metodo dell'equilibrio limite tramite la discretizzazione della massa instabile in "n" conci delimitati da superfici piane verticali.

Senza entrare nei dettagli del sistema di calcolo, la soluzione semplificata viene rappresentata dalla seguente equazione, che applicata al profilo morfologico meno favorevole in modo iterativo consente di individuare la superficie di scorrimento per la quale Fs raggiunge il valore minimo.

$$F_s = \frac{\sum [c \partial x_i + (W_i - U_i \partial x_i) \cdot \tan \varphi_i] \cdot [\sec \alpha_i / (1 + \tan \varphi_i \cdot \tan \alpha_i)]}{\sum W_i \sin \alpha_i}$$

dove  $W_i$  è il peso del "concio",  $U_i \partial x_i$  è la spinta idrostatica agente,  $\partial x_i$  la lunghezza della superficie di rottura, ai l'angolo che questa forma con l'orizzontale.

Rispetto ai criteri adottati, si è tenuto conto di quanto esposto in precedenza e dei seguenti fattori:

- vengono adottati i parametri geotecnici del terreno di copertura e del substrato roccioso esposti in precedenza, con la definizione geometrica della discontinuità litologica risultante dalle osservazioni descritte e dai sondaggi in sito, lungo il profilo oggetto di intervento che rappresenta la maggiore inclinazione quindi le condizioni maggiormente critiche rispetto alla stabilità;
- vengono analizzate le condizioni di stato attuale in base ai rilevamenti effettuati e di stato modificato secondo i dati progettuali, senza tenere conto in favore della sicurezza della presenza di opere di sostegno dei terreni lungo il pendio, ma esclusivamente dei carichi rappresentati dall'opera in progetto;
- si applicano il coefficiente di accelerazione sismica orizzontale e verticale  $k_h = 0.040$  e  $k_v = 0.020$ , relativi al sito di costruzione e allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV), e quindi i relativi incrementi delle forze inerziali  $F_h = k_h \cdot W_i$  e  $F_v = k_v \cdot W_i$ , con utilizzo dei parametri di resistenza al taglio drenati considerata la costituzione del sottosuolo per cui non si ritengono influenti variazioni delle pressioni interstiziali neutre.

I dati risultanti dall'applicazione del metodo hanno portato alla definizione dei cerchi critici, che individuano superfici di slittamento del tipo frana al piede, come rappresentato e definito nelle pagine seguenti, con fattori di sicurezza che risultano sovrabbondanti rispetto alle condizioni di equilibrio tra forze resistenti e forze mobilitanti  $F_s > 2.5$ , con un lieve incremento del fattore di sicurezza nelle condizioni di stato modificato dalla realizzazione delle opere in progetto e degli interventi di ripristino morfologico dell'area.

Riguardo, le possibili influenze sull'assetto sforzo deformazione dei terreni, le opere in progetto comportano modesti sovraccarichi, paragonabili al peso unitario del terreno asportato, molto inferiori al valore della resistenza alla compressione semplice pari a  $q_a = 10 \text{ daN/cm}^2$ , con possibili cedimenti dovuti alla deformabilità del sottosuolo che risultano di entità trascurabile.

## 5. VERIFICA DEL RISCHIO IDRAULICO

### 5.1. Modalità e criteri di calcolo

Per quanto esposto riguardo alle condizioni di fattibilità idraulica dell'intervento, risulta necessario verificare le attuali condizioni di rischio idraulico dell'area e l'eventuale necessità di effettuare interventi di messa in sicurezza, premesso che le opere in progetto non possono costituire alcun ostacolo al naturale deflusso del corso d'acqua nemmeno in caso di fenomeni di sormonto, dato che il manufatto in progetto risulterà completamente interrato senza modifiche significative al profilo della scarpata.

Per la stima della portata di massima piena viene adottato il metodo "razionale", anche se alcuni parametri vengono quantificati da formule empiriche, per la trasformazione afflussi deflussi, considerando la sezione di chiusura del bacino imbrifero come coincidente con la sezione d'alveo in prossimità del punto di derivazione ovvero adiacente verso monte alla briglia trasversale lungo il corso d'acqua.

La relazione per il calcolo della portata di massima piena è la seguente.

$$Q_{mp} = (C \cdot p \cdot A) / 3,6$$

per la quale si definiscono i seguenti parametri idrologici.

#### COEFFICIENTE DI DEFLUSSO (C)

Il dato viene calcolato adottando i criteri utilizzati nella relazione idraulica di cui al quadro conoscitivo delle Norme del Piano Assetto Idrogeologico della Autorità di Bacino del Fiume Fiora; in particolare, la stima del parametro è funzione della permeabilità delle formazioni litologiche presenti e dei relativi terreni di copertura, quindi delle capacità di ritenzione del suolo, nonché dell'uso del suolo per le formazioni di origine vulcanica attraversate, secondo le tabelle di riferimento esposte nella relazione suddetta.

Sulla base delle quantità relative di estensione delle diverse destinazioni d'uso del suolo, osservate dalla cartografia tematica (Regione Toscana - ISTAT) e dalla foto aerea più recente risulta quanto segue.

#### Bacino Torrente Meleta

Estensione (% bacino)	Formazione geologica	Terreni prodotti	Uso del suolo	Classe di Permeabilità	Coefficiente di deflusso
12	Tufi e ignimbriti	sabbie	aree boscate	A (alta)	0.360
3	Alluvioni	sabbie e argille	aree boscate	MA (medio-alta)	0.546
33	Tufi e ignimbriti	sabbie	seminativo	A (alta)	0.700
25	Alluvioni	sabbie e argille	seminativo	MA (medio-alta)	0.781
7	Tufi e ignimbriti	sabbie	oliveto - vigneto	A (alta)	0.450
14	Alluvioni	sabbie e argille	oliveto - vigneto	MA (medio-alta)	0.612
2	Alluvioni	sabbie e argille	alveo fluviale	MA (medio-alta)	0.490
2	Tufi e ignimbriti	sabbie	urbano	A (alta)	0.770
2	Alluvioni	sabbie e argille	urbano	MA (medio-alta)	0.834

Dalla media ponderata risulta per l'intera area del bacino imbrifero il valore **C = 0.645**.

Il valore risulta coerente rispetto al valore di  $C_{def} = 0.682$  definito dallo studio idrologico idraulico della Autorità di Bacino del Fiume Fiora, relativo al Fiume Lente, di cui Torrente Meleta è affluente diretto, censito con Bacino FIO – 030, il quale comprende anche l'intero centro abitato di Pitigliano.

#### INTENSITÀ DI PIOGGIA (p)

Tale valore corrisponde alla massima precipitazione attesa nell'intervallo di tempo pari al tempo di corrivazione, funzione dei tempi di ritorno (Tr) espressi in anni, la cui determinazione è stata eseguita facendo riferimento alla Analisi di Frequenza Regionale delle Precipitazioni Estreme (LSPP - 2012) della Regione Toscana con riferimento ai dati derivanti dalla stazione pluviometrica di Pitigliano - TOS11000014, presente in prossimità del tratto finale del corso d'acqua con coordinate geografiche di lat. 4.723.530 e long. 1.717.577, in cui si determinano le curve isoparametriche per le piogge orarie, secondo la relazione

$$p(Tr) = a \cdot tc^n$$

dove i parametri delle curve di possibilità climatica in funzione dei tempi di ritorno, nel caso considerati pari a 200 anni secondo la normativa, risultano: **a = 98.75 mm**, **n = 0.3508**,

e il tempo di corrivazione espresso in ore alla sezione di chiusura viene calcolato dalla formula

$$tc = (4 \cdot A^{0.5} + 1.5 \cdot L) / 0.8 \cdot (H_m - H_o)^{0.5}$$

in cui A (kmq) è l'area del bacino imbrifero alla sezione di chiusura, L (km) la lunghezza dell'asta principale alla chiusura, H<sub>m</sub> (m) l'altitudine media del bacino sotteso, H<sub>o</sub> (m) l'altitudine alla sezione di chiusura.

#### AREA DEL BACINO IMBRIFERO ALLA SEZIONE DI CHIUSURA (A)

Il bacino imbrifero definito tra linee spartiacque su base cartografica di maggior dettaglio disponibile, viene calcolato con applicazione di programma automatico alla cartografia: l'estensione del bacino imbrifero di alimentazione del corso d'acqua Fosso Meleta sotteso alla sezione di chiusura risulta **A = 15.50 kmq**.

Si riporta di seguito la tabella riassuntiva dei principali parametri idrologici e idraulici utilizzati e risultanti.

#### DATI IDENTIFICATIVI

Denominazione corso d'acqua	Fosso Meleta
Ubicazione C.T.R.	El. 333.130
Inquadramento P.A.I. Fiora	reticolo idrografico
Codice e Ambito D.C.R. 230/1994	GR 1402 – A
Acque pubbliche R.D. 1775/1933	presente in elenco
Corpo idrico D.Lgs 152/1999	significativo

#### BACINO IMBRIFERO

Area di bacino	A (kmq)	15,50
Lunghezza asta principale	L (km)	11,80
Quota massima s.l.m.	Qt max (m)	610
Quota minima (alla chiusura)	Qt min (m)	210
Quota media s.l.m.	Qt med (m)	452
Tempo di corrivazione	tc (ore)	2,69
Coefficiente di deflusso	C (-)	0,645

## 5.2. Verifiche idrauliche

Per quanto esposto, dalla relazione  $Q_{mp} = (C \cdot p \cdot A) / 3.6$ , per tempi di ritorno duecentennali secondo le prescrizioni di cui alla normativa citata, risulta la portata di massima piena del corso d'acqua Fosso Meleta alla sezione di chiusura considerata in prossimità dell'area oggetto d'intervento, pari a

$$Q_{mp} = 144.33 \text{ mc/s}$$

data l'intensità di pioggia del bacino risultante  $p$  (Tr200) = 51.97 mm/h, con altezza di pioggia ricadente nell'intero bacino nel tempo di corrivazione  $t_c = 2.69$  ore pari a  $h$  (Tr200) = 139.68 mm.

La portata di colmo o portata critica del corso d'acqua viene calcolata secondo la seguente relazione

$$Q_c = vS$$

In cui  $S$  (m) è la sezione d'alveo,  $v$  (m/s) è la velocità della corrente calcolata con la formula di Chezy

$$v = x_s \cdot (R \cdot i)^{0.5}$$

dove  $x_s$  è il coefficiente empirico di scabrezza espresso in  $\sqrt{m}/s$  dato dalla formula di Bazin

$$x_s = 87 \cdot \sqrt{R} / (\sqrt{R} + \gamma)$$

in cui  $R$  (m) è il raggio idraulico pari al rapporto tra area bagnata e contorno bagnato,  $\gamma$  ( $\sqrt{m}$ ) il coefficiente empirico di scabrezza, per il quale è stato adottato il valore  $3 \sqrt{m}$ , cautelativo rispetto ai valori riferiti a corsi d'acqua naturali  $1.3 \sqrt{m}$  o con alveo in ghiaia e movimento di materiale sul fondo  $2.0 - 2.3 \sqrt{m}$ .

Alla sezione di chiusura considerata, il corso d'acqua presenta una sezione idraulica con larghezza della base d'alveo di 7.5 m e di 12 m tra i cigli delle sponde che presentano una altezza minima di 2.5 m.

Nel caso specifico quindi, secondo la relazione  $Q_c = vS$ , in cui risulta la sezione  $S = 0.67 \text{ mq}$ , utilizzando la formula di Chezy  $v = x_s \cdot (R \cdot i)^{0.5}$ , in cui risulta  $X_s = 13.2 \sqrt{m}/s$  e  $R = 0.29 \text{ m}$ , data la pendenza media della base d'alveo misurata su base cartografica  $i = 0.05$ , da cui si ottiene la velocità della corrente

$$v = 7.83 \text{ m/s}$$

la portata di colmo o portata critica del corso d'acqua alla sezione di chiusura considerata risulta

$$Q_c = 190.82 \text{ mc/s}$$

Pertanto, viene dimostrata l'assenza di rischio idraulico per il corso d'acqua nell'area oggetto di studio, essendo  $Q_{mp} < Q_c$ .

In base alle caratteristiche morfologiche dell'alveo, il livello idrico per portata di piena con tempi di ritorno duecentennali risulta pari a  $h_{mp} = 1.90 \text{ ml}$ , quindi a quota inferiore rispetto al livello di colmo  $h_c = 2.50 \text{ ml}$ , di  $\Delta h = 0.60 \text{ ml}$ , con franco di sicurezza maggiore a mezzo metro in riferimento alla normativa vigente.

Pertanto, la realizzazione dell'intervento in progetto che non comporta l'insorgere o l'incremento di situazione di rischio idraulico nell'area o in aree adiacenti, risulta fattibile senza necessità di realizzare opere idrauliche finalizzate alla messa in sicurezza dell'area o alla mitigazione delle condizioni di pericolo di esondazione, data l'oggettiva assenza di rischio.



# **VERIFICA STABILITA' DEI PENDII**

## **DATI GENERALI**

Unità di misura utilizzate: lunghezza: m; pressione: Kg/cm2; peso specifico: kg/m3; forza lineare: Kg/m.

Massima larghezza concio di calcolo: 2.000  
 Prodotto dei coefficienti sismici : 0.040  
 Coefficiente sismico verticale : 0.020  
 Coefficiente riduzione attrito : 1.250  
 Coefficiente riduzione coesione : 1.000

## **CARATTERISTICHE DEGLI STRATI**

Num	Descrizione	Gamma	CU	FI	Porosità
1	terreno di copertura	1600.0	0.00	25.00	0.40
2	substrato consistente	2000.0	1.00	30.00	0.20

## **GRIGLIA DI CALCOLO**

X vertice basso a sinistra rettang.: 0.000  
 Y vertice basso a sinistra rettang.:25.000  
 Larghezza rettangolo della griglia :60.000  
 Altezza rettangolo della griglia :50.000  
 Passo della griglia lungo X : 4.000  
 Passo della griglia lungo Y : 4.000

## **COORDINATE DEI PROFILI**

<b>VERIFICA STATO ATTUALE</b>				<b>VERIFICA STATO MODIFICATO</b>			
----- Profilo Nodo		X	Y	----- Profilo Nodo		X	Y
Pendio	1	0.000	0.000	Pendio	1	0.000	0.000
Pendio	2	10.000	0.000	Pendio	2	10.000	0.000
Pendio	3	10.000	10.000	Pendio	3	10.000	10.000
Pendio	4	15.000	10.000	Pendio	4	15.000	10.000
Pendio	5	16.000	8.500	Pendio	5	16.000	8.500
Pendio	6	16.000	7.000	Pendio	6	16.000	6.000
Pendio	7	17.500	7.000	Pendio	7	19.500	6.000
Pendio	8	17.500	8.500	Pendio	8	19.500	9.000
Pendio	9	20.000	12.000	Pendio	9	27.000	13.000
Pendio	10	31.000	13.500	Pendio	10	31.000	13.500
Pendio	11	36.000	17.500	Pendio	11	36.000	17.500
Pendio	12	44.000	17.500	Pendio	12	44.000	17.500
Pendio	13	45.000	18.000	Pendio	13	45.000	18.000
Pendio	14	60.000	20.000	Pendio	14	60.000	20.000
2	1	0.000	0.000	2	1	0.000	0.000
2	2	10.000	0.000	2	2	10.000	0.000
2	3	10.000	8.500	2	3	10.000	8.500
2	4	16.000	8.500	2	4	16.000	8.500
2	5	16.000	7.000	2	5	16.000	6.000
2	6	17.500	7.000	2	6	19.500	6.000
2	7	17.500	8.500	2	7	19.500	9.000
2	8	29.000	10.000	2	8	29.000	10.000
2	9	44.000	13.000	2	9	44.000	13.000
2	10	47.000	16.000	2	10	47.000	16.000
2	11	60.000	18.000	2	11	60.000	18.000
2	12	60.000	20.000	2	12	60.000	20.000
-----				-----			

**RISULTATI – STATO ATTUALE**

Calcolo effettuato con il metodo di Bishop

Larghezza del concio.....=1.946  
 Coordinata X centro =12.000  
 Coordinata Y centro =37.000  
 Raggio =37.353

**Coefficiente di sicurezza F =2.944**

Numero iterazioni = 1  
 Precisione =0.02576

**ANALISI DEI CONCI DI CALCOLO**

Concio n°	Alfa °	L ml	CU kg/cm2	FI °	W kg/ml	WS kg/ml
1	-6.38	1.959	1.000	30.0	483.4	19.0
2	-3.38	1.950	1.000	30.0	1143.2	44.8
3	-0.39	1.946	1.000	30.0	41104.6	1611.9
4	2.59	1.948	1.000	30.0	40956.3	1606.1
5	5.59	1.956	1.000	30.0	36615.3	1435.9
6	8.60	1.969	1.000	30.0	33944.8	1331.2
7	11.63	1.987	1.000	30.0	43386.5	1701.4
8	14.70	2.012	1.000	30.0	44997.0	1764.6
9	17.81	2.044	1.000	30.0	43798.2	1717.6
10	20.98	2.085	1.000	30.0	42132.4	1652.2
11	24.22	2.134	1.000	30.0	39971.2	1567.5
12	27.54	2.195	1.000	30.0	37278.3	1461.9
13	30.96	2.270	1.000	30.0	34553.2	1355.0
14	34.51	2.362	1.000	30.0	35770.7	1402.8
15	38.23	2.478	1.000	30.0	36266.4	1422.2
16	42.14	2.625	1.000	30.0	32604.2	1278.6
17	46.32	2.818	1.000	30.0	25090.9	984.0
18	50.84	3.082	1.000	30.0	16346.8	641.1
19	55.87	3.469	1.000	30.0	5985.6	234.7
Σ					432892.6	

Concio n°	C*Lc+(Wc+u*Lc)*tg(ø) kg/ml	m	Ms kg/ml	Mr kg/ml
1	19687.3	1.0	20167.0	-34.8
2	19992.1	1.0	20216.1	-22.6
3	38449.5	1.0	38492.3	1329.3
4	38381.0	1.0	38146.8	3459.4
5	36376.0	1.0	35992.3	5001.4
6	35142.5	1.0	34711.2	6406.1
7	39503.4	1.0	39059.1	10449.5
8	40247.3	1.0	39950.3	13183.1
9	39693.6	1.0	39674.4	15115.1
10	38924.2	1.0	39302.2	16736.7
11	37925.9	1.0	38821.4	17962.1
12	36682.2	1.0	38214.7	18695.8
13	35423.5	0.9	37726.8	19130.9
14	35985.8	0.9	39385.9	21670.6
15	36214.8	0.9	40989.6	23862.7
16	34523.3	0.8	40725.8	23154.4
17	31053.1	0.8	38568.4	19128.7
18	27014.3	0.8	35819.1	13316.6
19	22228.7	0.7	32117.4	5189.4
Σ			688080.8	233734.3

**RISULTATI – STATO ATTUALE**

Calcolo effettuato con il metodo di Bishop

Larghezza del concio.....=1.946  
 Coordinata X centro =12.000  
 Coordinata Y centro =37.000  
 Raggio =37.353

**Coefficiente di sicurezza F =2.996**

Numero iterazioni = 1  
 Precisione =0.02818

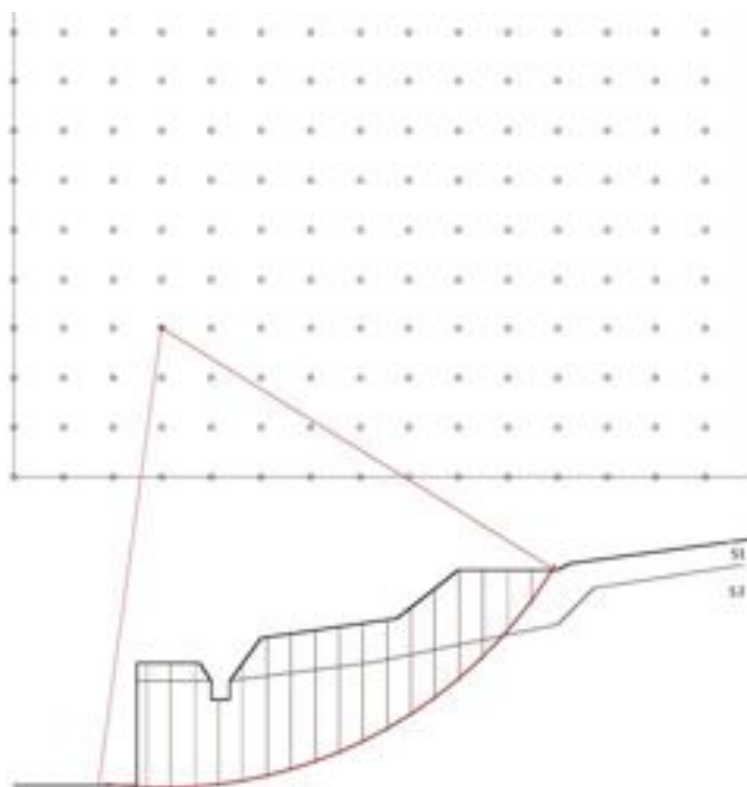
**ANALISI DEI CONCI DI CALCOLO**

Concio n°	Alfa °	L ml	CU kg/cm2	FI °	W kg/ml	WS kg/ml
1	-6.38	1.959	1.000	30.0	483.4	19.0
2	-3.38	1.950	1.000	30.0	1143.2	44.8
3	-0.39	1.946	1.000	30.0	41104.6	1611.9
4	2.59	1.948	1.000	30.0	40956.3	1606.1
5	5.59	1.956	1.000	30.0	36615.3	1435.9
6	8.60	1.969	1.000	30.0	27530.4	1079.6
7	11.63	1.987	1.000	30.0	34154.6	1339.4
8	14.70	2.012	1.000	30.0	36469.2	1430.2
9	17.81	2.044	1.000	30.0	38338.5	1503.5
10	20.98	2.085	1.000	30.0	39740.6	1558.5
11	24.22	2.134	1.000	30.0	40137.4	1574.0
12	27.54	2.195	1.000	30.0	37356.8	1465.0
13	30.96	2.270	1.000	30.0	34553.2	1355.0
14	34.51	2.362	1.000	30.0	35770.7	1402.8
15	38.23	2.478	1.000	30.0	36266.4	1422.2
16	42.14	2.625	1.000	30.0	32604.2	1278.6
17	46.32	2.818	1.000	30.0	25090.9	984.0
18	50.84	3.082	1.000	30.0	16346.8	641.1
19	55.87	3.469	1.000	30.0	5985.6	234.7
Σ					432892.6	

Concio n°	C*Lc+(Wc+u*Lc)*tg(ø) kg/ml	m	Ms kg/ml	Mr kg/ml
1	19687.3	1.0	20160.9	-34.8
2	19992.1	1.0	20212.9	-22.6
3	38449.5	1.0	38491.6	1329.3
4	38381.0	1.0	38151.3	3459.4
5	36376.0	1.0	36001.4	5001.4
6	32179.8	1.0	31797.3	5195.5
7	35239.4	1.0	34861.4	8226.0
8	36308.5	1.0	36064.6	10684.6
9	37171.8	1.0	37183.9	13230.9
10	37819.4	1.0	38223.3	15786.6
11	38002.8	1.0	38943.2	18036.9
12	36718.4	1.0	38301.2	18735.1
13	35423.5	0.9	37781.4	19130.9
14	35985.8	0.9	39450.5	21670.6
15	36214.8	0.9	41065.5	23862.7
16	34523.3	0.8	40811.1	23154.4
17	31053.1	0.8	38660.1	19128.7
18	27014.3	0.8	35916.7	13316.6
19	22228.7	0.7	32219.2	5189.4
Σ			674297.4	225081.6

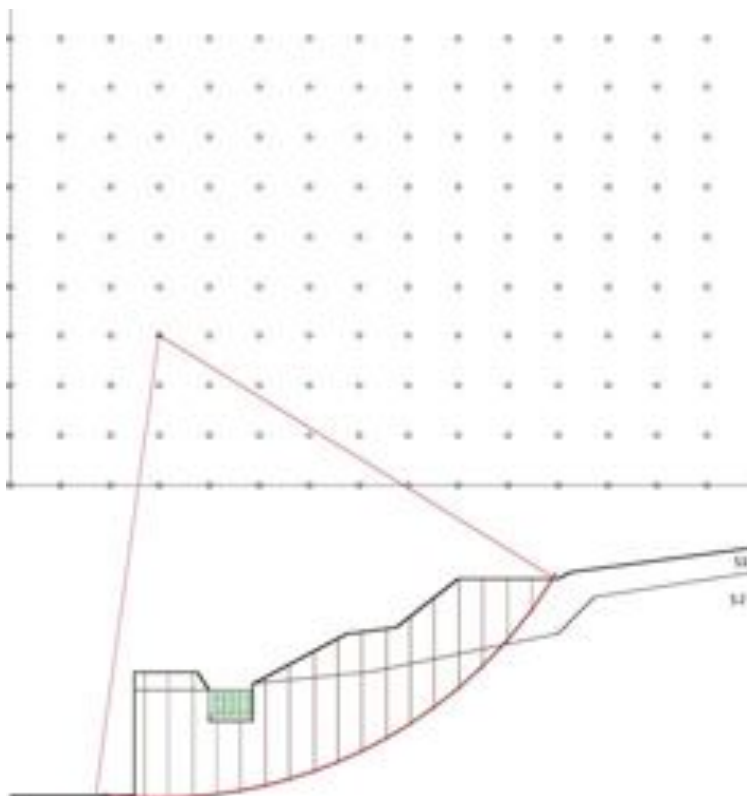
## RAPPRESENTAZIONE GRAFICA

### STATO ATTUALE

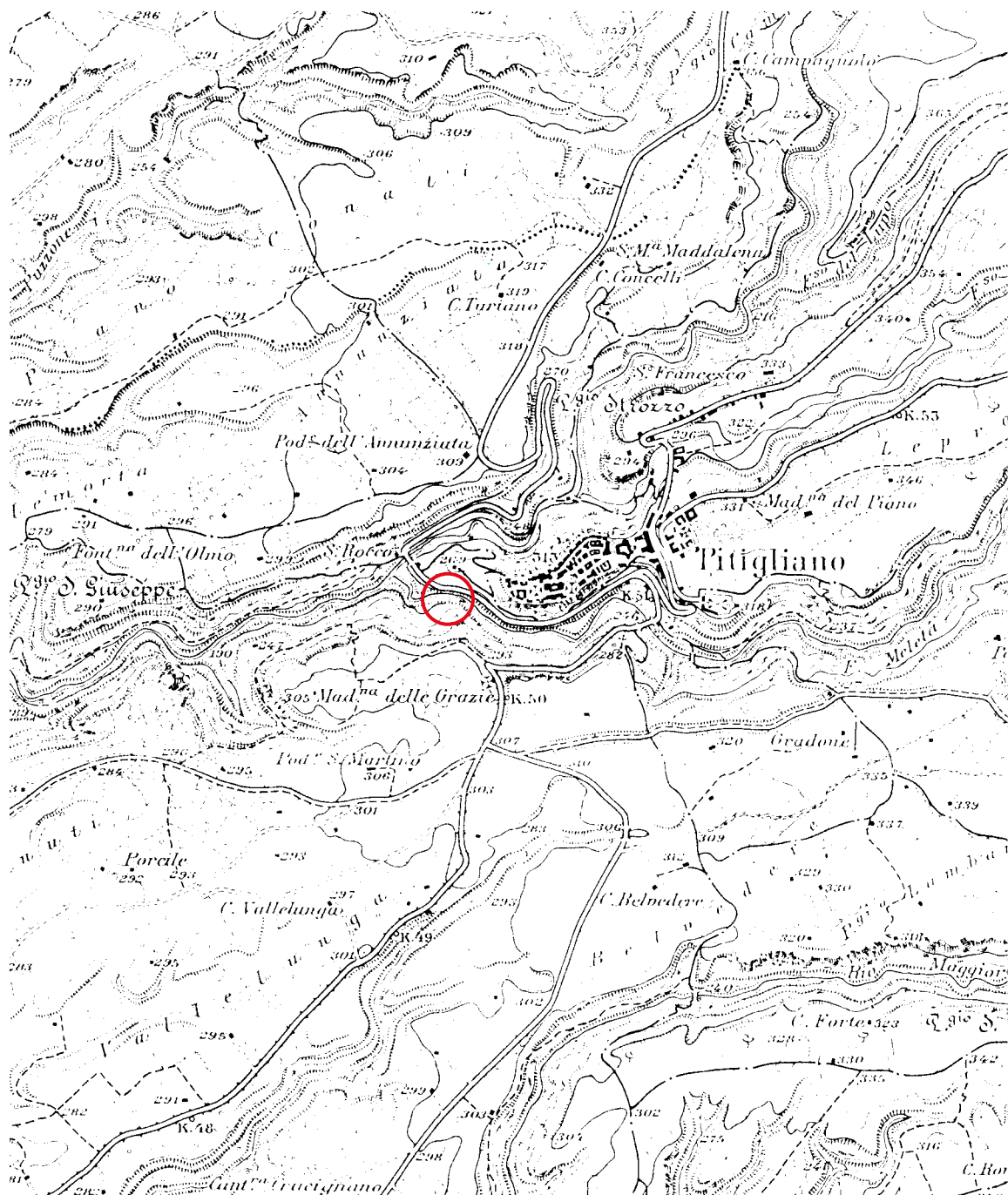


Coefficiente di sicurezza  $F = 2.944$

### STATO MODIFICATO

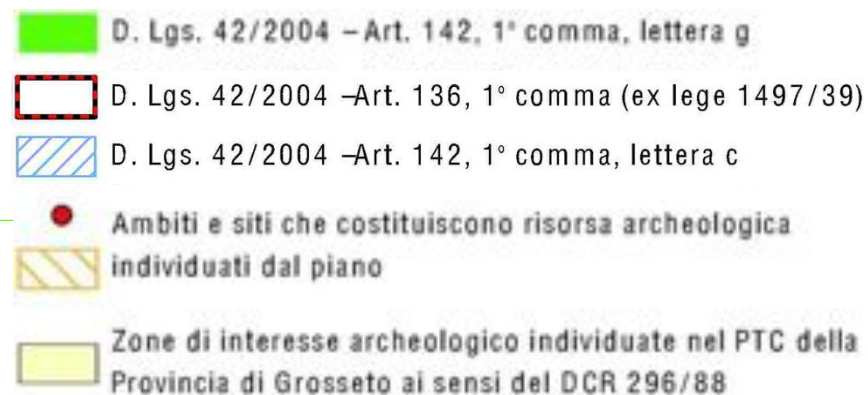
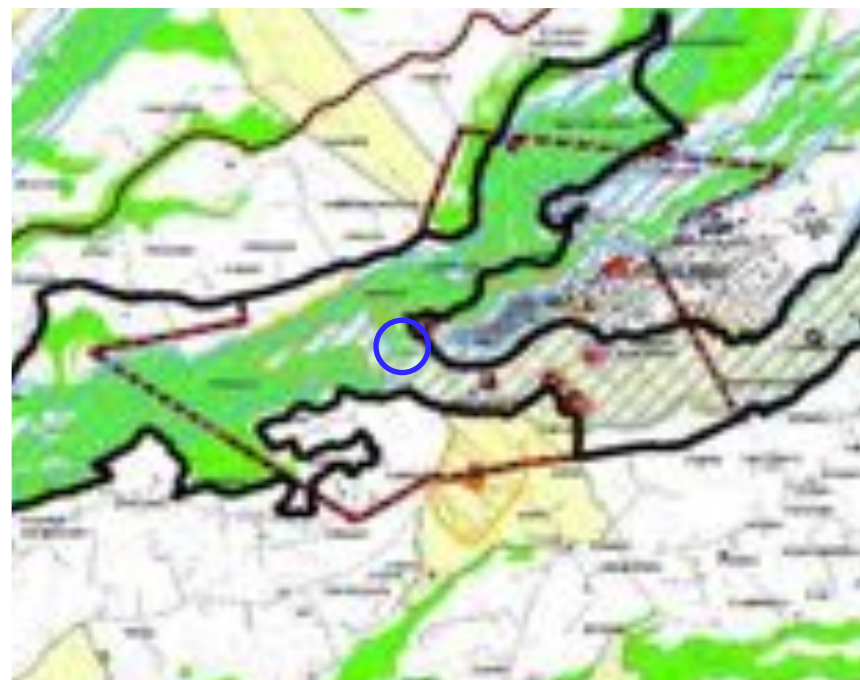


Coefficiente di sicurezza  $F = 2.996$



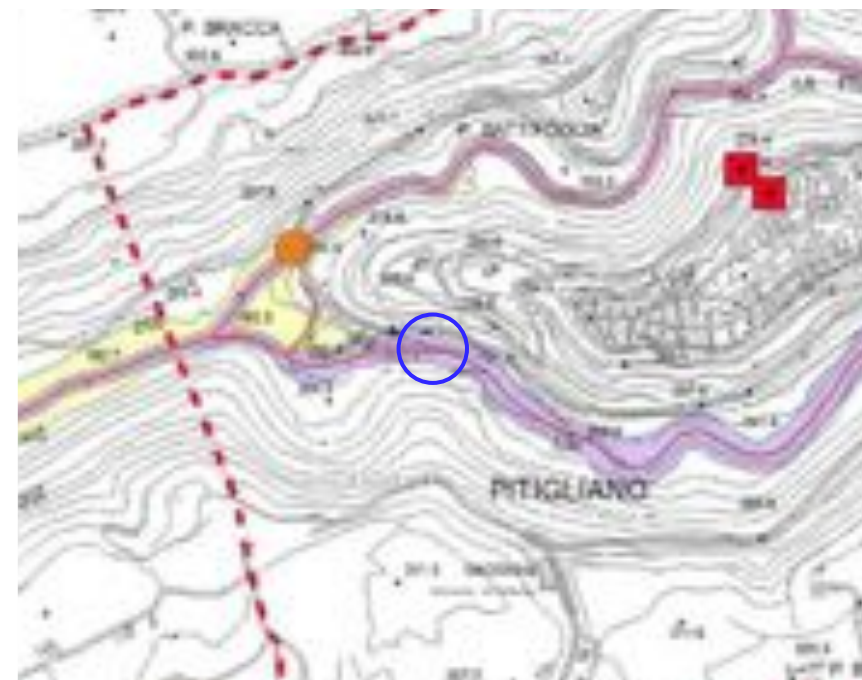
## TAVOLA 2

UBICAZIONE DELL'INTERVENTO IN CARTA DEI VINCOLI IDROGEOLOGICO PAESAGGISTICO DEL PIANO STRUTTURALE DEL COMUNE DI PITIGLIANO





UBICAZIONE DELL'INTERVENTO IN CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA E IDRAULICA DEL PIANO STRUTTURALE DEL COMUNE DI PITIGLIANO



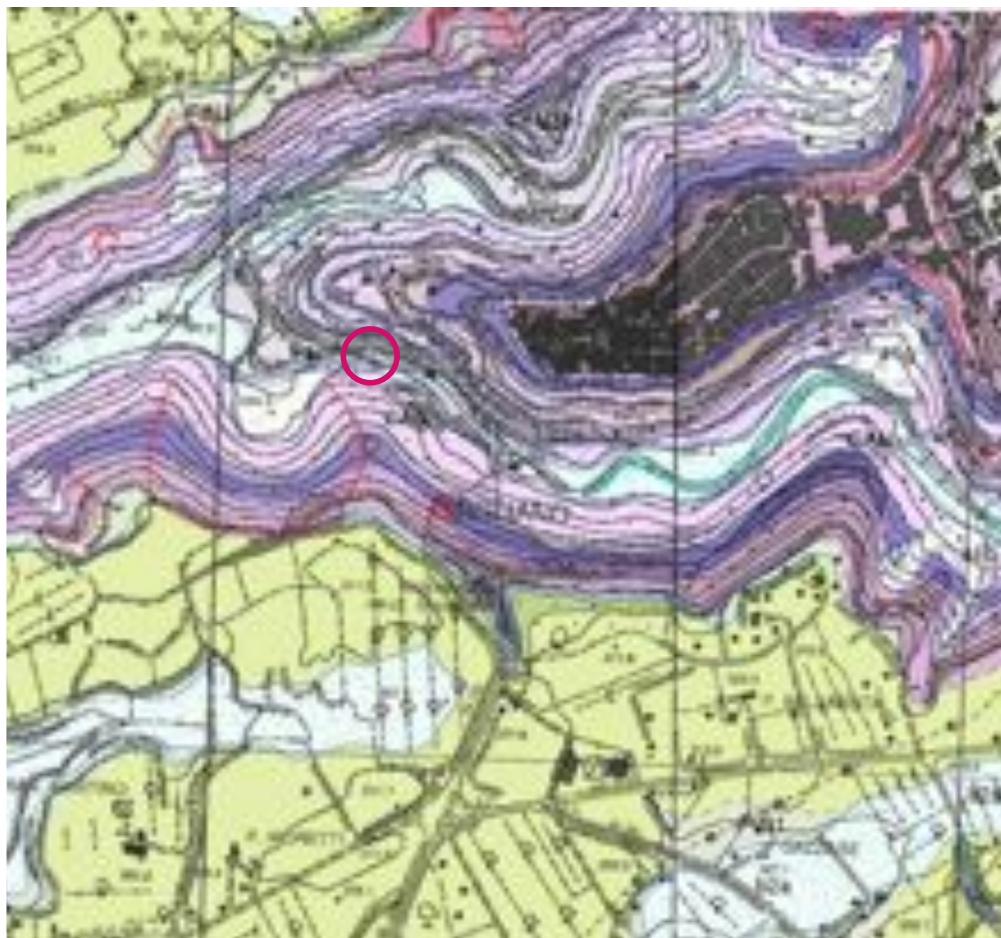
- G.4 CLASSE G.4 (Pericolosità geomorfologica molto elevata)
- G.3 CLASSE G.3 (Pericolosità geomorfologica elevata)
- G.2 CLASSE G.2 (Pericolosità geomorfologica media)
- G.1 CLASSE G.1 (Pericolosità geomorfologica bassa)

Pertinenza fluviale (ai sensi dell'art. 36 D.C.R. 24/07/2007 n° 72 Piano di Indirizzo Territoriale 2005-2010 Regione Toscana)

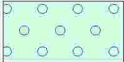

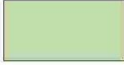


Area oggetto d'intervento

## TAVOLA 4

Elemento C.T.R. 332.160 / 333.130 - scala 1 : 10.000

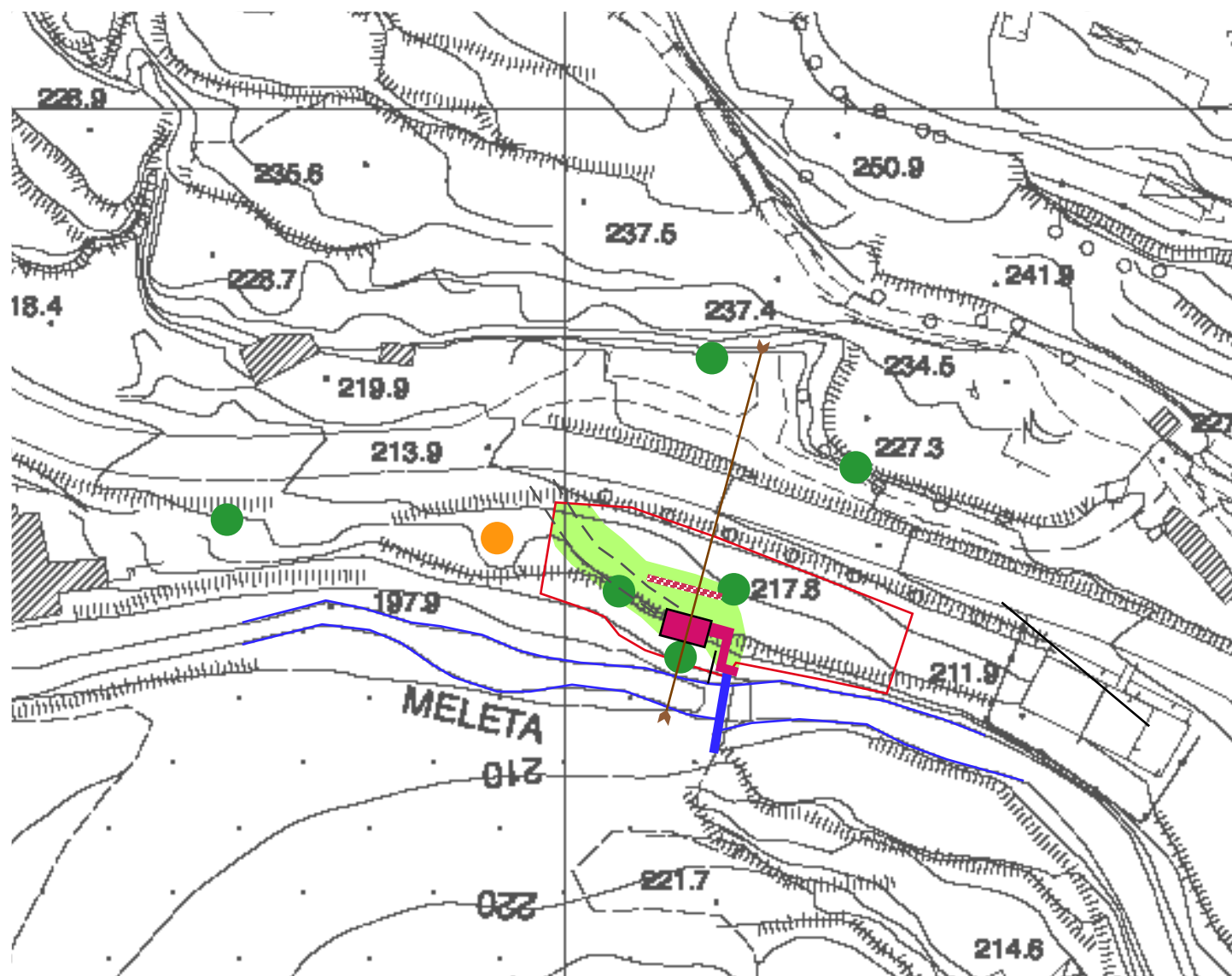


UBICAZIONE DELL'AREA D'INTERVENTO IN CARTA GEOLOGICA  
 PROGETTO CARG - REGIONE TOSCANA

	bn (G)	Depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati Olocene
	PIT3	FORMAZIONE DI PITIGLIANO Pomici pliane alla base, flusso piroclastico con abbondanti litici, ash-flow saldato grigio con struttura a fiamme. Pleistocene
	PIN1	FORMAZIONE DI POGGIO PINZO Depositi di caduta pliniani, surge, generalmente non saldati, di colore grigio. Pleistocene
	SOR2	FORMAZIONE DI SORANO Flusso piroclastico, matrice gialla con pomici bianche e gialle. Pleistocene
	CAN	FORMAZIONE DI CANINO Pleistocene



## TAVOLA 5



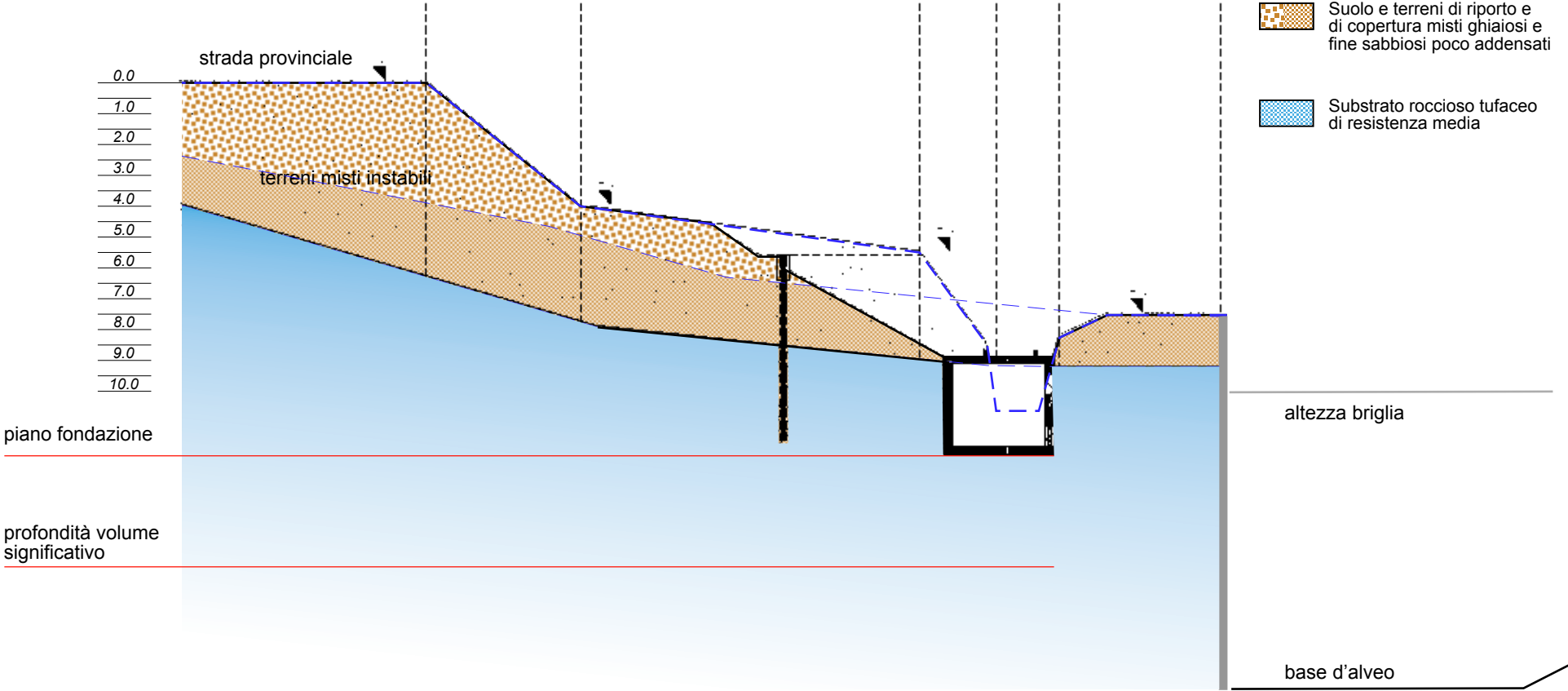
UBICAZIONE INDAGINI IN SITO E AREA  
D'INTERVENTO IN CARTA TECNICA

SCALA 1:1.000

- Ubicazione area oggetto di intervento in progetto
- Area oggetto di movimenti di terreno nelle fasi di cantiere e ripristino morfologico dei luoghi
- Se**  
Affioramenti e fronti di scavo esistenti oggetto di studio
- Ppd**  
Prove penetrometriche dinamiche medio pesanti
- Limite di proprietà particelle catastali oggetto d'intervento
- Corso d'acqua tra i cigli di sponda e briglia trasversale
- Traccia della sezione delle verifiche di stabilità del pendio

TAVOLA 6

SEZIONE GEOLOGICA DEI TERRENI STATO SOVRAPPOSTO ATTUALE E DI PROGETTO - SCALA 1:200



## Documentazione fotografica

Torrente Meleta - Comune di Pitigliano (GR), 16.11.2016



area d'intervento (vista da ovest)



area d'intervento (vista da sud est)



scavo con affioramento roccioso esistente adiacente verso il corso d'acqua

## Documentazione fotografica

Torrente Meleta - Comune di Pitigliano (GR), 16.11.2016



affioramento della formazione tufacea in area adiacente a ovest



assetto litologico in fronte di scavo (terreno di copertura e substrato roccioso)



affioramento dell'ammasso roccioso tufaceo nella zona a monte della scarpata



## Documentazione fotografica

Torrente Meleta - Comune di Pitigliano (GR), 16.11.2016



corso d'acqua T. Meleta alla sezione oggetto di derivazione



corso d'acqua T. Meleta alla sezione a monte della briglia



corso d'acqua T. Meleta a monte della sezione oggetto di derivazione

## CLASSIFICAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO DI BENIAWSKY

### A1 = resistenza a compressione uniassiale = 4

Da prove di laboratorio e dati pubblicati risulta il valore medio della resistenza a compressione uniassiale  $S_u = 30$  Mpa.

Da prove di laboratorio disponibili e Point Load (prove penetrometriche) risulta il valore minimo  $I_s = 22$  kg/cm<sup>2</sup> a cui corrisponde per valore minimo di conversione  $K = 14$  il valore  $S_u = 30.8$  MPa.

Dalle prove in sito l'ammasso rientra nella seguente definizione a cui corrisponde il campo di valori  $S_u = 25 - 50$  MPa: La roccia si frattura con un colpo.

### A2 = Rock Quality Designation Index (Indice RQD) = 9

In mancanza di un sondaggio in sito a carotaggio continuo, RQD si ricava dal numero di famiglie di discontinuità caratterizzanti l'ammasso roccioso e dalla misura della loro spaziatura, dalla relazione di Palmström:  $RQD = 115 - 3,3 J_v$ , con il valore medio di  $J_v$  osservato 15 - 20 risulta  $RQD = 49$ .

L'indice corrispondente è dato dalla relazione  $A2 = 5/23.4 RQD - 1.4 = 9.1$

### A3 = spaziatura delle discontinuità = 8

Una volta calcolata la spaziatura media, cioè la distanza media tra due discontinuità adiacenti, è possibile ricavare il valore del coefficiente A3, mediante la relazione  $A3 = 10 s + 6$ , in cui dalle misure risulta  $s = 0.25$  m.

### A4 = condizioni delle discontinuità = 14

Per valutare correttamente A4 conviene procedere sommando alcuni parametri numerici attribuibili alla persistenza del giunto, all'apertura del giunto, alla rugosità dello stesso, all'alterazione delle pareti, e al materiale di riempimento:  $A4 = V1 + V2 + V3 + V4 + V5$ . Da quanto rilevato si ha:

V1 - Persistenza del giunto	1 - 3 m	V1 = 4
V2 - Apertura del giunto	≥ 5 mm	V2 = 0
V3 - Rugosità del giunto	rugosa	V3 = 5
V4 - Alterazione delle pareti	medio	V4 = 3
V5 - Riempimento delle discontinuità	compatto	V5 = 2

### A5 = condizioni idrauliche = 7

Il valore deriva dalle condizioni idrauliche riferite ad un fronte complessivo di 10 m secondo le tabelle fornite da Beniaowsky per superfici bagnate.

### A6 = orientamento delle discontinuità = -7

Per l'orientamento delle discontinuità si applica un coefficiente di correzione A6, a seconda che si tratti di gallerie o fondazioni. Nel caso specifico le famiglie di giunti si rilevano orizzontali continue e subverticali anastomizzate quindi in situazione mediocre rispetto alle fondazioni superficiali.

## Indice Rock Mass Rating

Da questi sei parametri si ricava l'indice Rock Mass Rating di base (RMRb) e l'indice Rock Mass Rating corretto (RMRC)

$$RMR \text{ di base} = (A1 + A2 + A3 + A4 + A5) \quad RMRb = 42$$

$$RMR \text{ corretto} = (A1 + A2 + A3 + A4 + A5) + A6 \quad RMRC = 35$$

con  $RMRC = 35$  : **Qualità Scadente di classe IV**

## Parametri geotecnici

I parametri geotecnici sono dati dalle seguenti relazioni

$$\begin{aligned} \text{coesione} \quad c \text{ (kPa)} &= 5 RMRb \\ \text{angolo di attrito} \quad \varphi \text{ (}^\circ\text{)} &= 0,5 RMRb + 10 \end{aligned}$$

da cui, con  $RMRb = 42$  si ottiene:  $c = 2.1$  daN/cm<sup>2</sup>;  $\varphi = 31^\circ$

utilizzando i valori minimi per la classe IV:  $c = 1.0$  daN/cm<sup>2</sup>;  $\varphi = 30^\circ$

# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: Dott. Geol. Andrea Irsara  
Cantiere: Meleta - Sondaggio 1  
Località: Pitigliano - Torrente Meleta

## Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: Deep Drill 30 SA-Sm

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	30 Kg
Altezza di caduta libera	0,20 m
Peso sistema di battuta	18 Kg
Diametro punta conica	35,68 mm
Area di base punta	10 cm <sup>2</sup>
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,80 m
Avanzamento punta	0,10 m
Numero colpi per punta	N(10)
Coeff. Correlazione	0,766
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	60 °

## Sondaggio 1



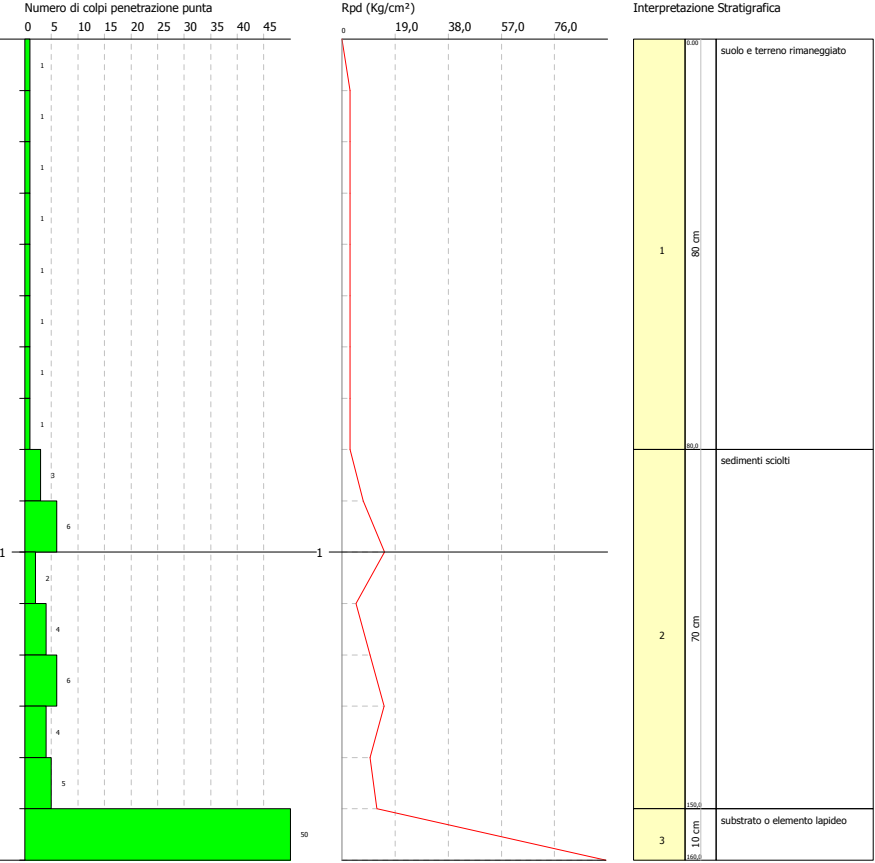
Strumento utilizzato...	Deep Drill 30 SA-Sm
Prova eseguita in data	11/10/2016
Profondità prova	1,60mt
Falda	non rilevata

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Sondaggio 1  
Strumento utilizzato... Deep Drill 30 SA-Sm

Committente: Dott. Geol. Andrea Insara  
Cantiere: Sondaggio 1  
Località: Pitigliano - Torrente Meleta

Data: 11/10/2016

Scala 1:10



Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm²)
0,10	1	0,857	2,86	3,33	0,14	0,17
0,20	1	0,855	2,85	3,33	0,14	0,17
0,30	1	0,853	2,84	3,33	0,14	0,17
0,40	1	0,851	2,84	3,33	0,14	0,17
0,50	1	0,849	2,83	3,33	0,14	0,17
0,60	1	0,847	2,82	3,33	0,14	0,17
0,70	1	0,845	2,82	3,33	0,14	0,17
0,80	1	0,843	2,81	3,33	0,14	0,17
0,90	3	0,842	7,57	9,00	0,38	0,45
1,00	6	0,840	15,12	18,00	0,76	0,90
1,10	2	0,838	5,03	6,00	0,25	0,30
1,20	4	0,836	10,04	12,00	0,50	0,60
1,30	6	0,835	15,02	18,00	0,75	0,90
1,40	4	0,833	9,99	12,00	0,50	0,60
1,50	5	0,831	12,47	15,00	0,62	0,75
1,60	50	0,630	94,43	150,00	4,72	7,50

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m³)	Peso unità di volume saturo (t/m³)	Tensione efficace (Kg/cm²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt	Descrizione
0,8	1	3,33	Incoerente	0	1,34	1,86	0,05	0,77	0,77	suolo e terreno rimaneggiato
1,5	4,29	12,86	Incoerente	0	1,46	1,88	0,16	0,77	3,29	sedimenti sciolti
1,6	50	150	Incoerente	0	2,19	2,5	0,22	0,77	38,3	substrato o elemento lapideo

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Sondaggio 1

TERRENI INCOERENTI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) suolo e terreno rimaneggiato	0,77	0,00-0,80	0,77	Meyerhof 1957	21,23
Strato (2) sedimenti sciolti	3,29	0,80-1,50	3,29	Meyerhof 1957	41,11
Strato (3) substrato o elemento lapideo	38,3	1,50-1,60	38,3	Meyerhof 1957	100

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) suolo e terreno rimaneggiato	0,77	0,00-0,80	0,77	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	27,22
Strato (2) sedimenti sciolti	3,29	0,80-1,50	3,29	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	27,94
Strato (3) substrato o elemento lapideo	38,3	1,50-1,60	38,3	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	37,94

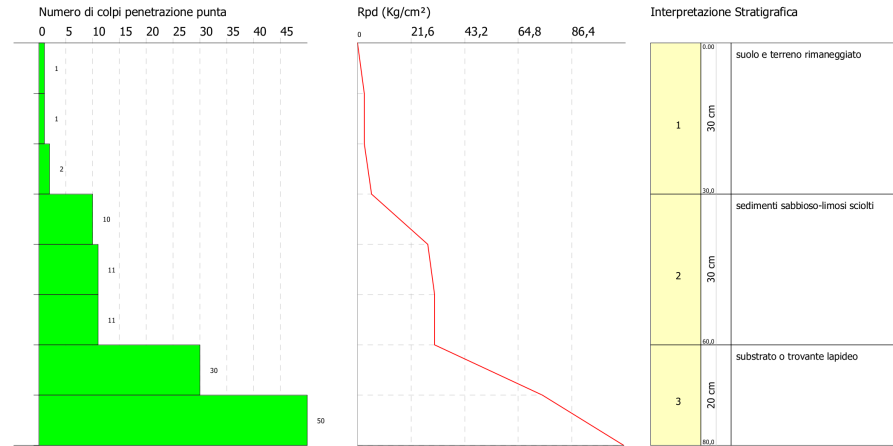


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: Dott. Geol. Andrea Irsara
Cantiere: Meleta - Sondaggio 2
Località: Pitigliano - Torrente Meleta

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: Deep Drill 30 SA-Sm

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	30 Kg
Altezza di caduta libera	0,20 m
Peso sistema di battuta	18 Kg
Diametro punta conica	35,68 mm
Area di base punta	10 cm²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,80 m
Avanzamento punta	0,10 m
Numero colpi per punta	N(10)
Coeff. Correlazione	0,766
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	60 °



Strumento utilizzato... Deep Drill 30 SA-Sm  
Prova eseguita in data 11/10/2016  
Profondità prova 0,80mt  
Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm²)
0,10	1	0,857	2,86	3,33	0,14	0,17
0,20	1	0,855	2,85	3,33	0,14	0,17
0,30	2	0,853	5,68	6,67	0,28	0,33
0,40	10	0,851	28,36	33,33	1,42	1,67
0,50	11	0,849	31,13	36,67	1,56	1,83
0,60	11	0,847	31,06	36,67	1,55	1,83
0,70	30	0,745	74,52	100,00	3,73	5,00
0,80	50	0,643	107,22	166,67	5,36	8,33

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m³)	Peso unità di volume saturo (t/m³)	Tensione efficace (Kg/cm²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt	Descrizione
0,3	1,33	4,44	Incoerente	0	1,35	1,86	0,02	0,77	1,02	suolo e terreno rimaneggiato
0,6	10,67	35,56	Incoerente	0	1,67	1,91	0,07	0,77	8,17	sedimenti sabbioso-limosi sciolti
0,8	40	133,33	Incoerente	0	2,14	2,5	0,11	0,77	30,64	substrato o trovante lapideo

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Sondaggio 2

TERRENI INCOERENTI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) suolo e terreno rimaneggiato	1,02	0,00-0,30	1,02	Meyerhof 1957	24,99
Strato (2) sedimenti sabbioso-limosi sciolti	8,17	0,30-0,60	8,17	Meyerhof 1957	68,6
Strato (3) substrato o trovante lapideo	30,64	0,60-0,80	30,64	Meyerhof 1957	100

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) suolo e terreno rimaneggiato	1,02	0,00-0,30	1,02	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	27,29
Strato (2) sedimenti sabbioso-limosi sciolti	8,17	0,30-0,60	8,17	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	29,33
Strato (3) substrato o trovante lapideo	30,64	0,60-0,80	30,64	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	35,75

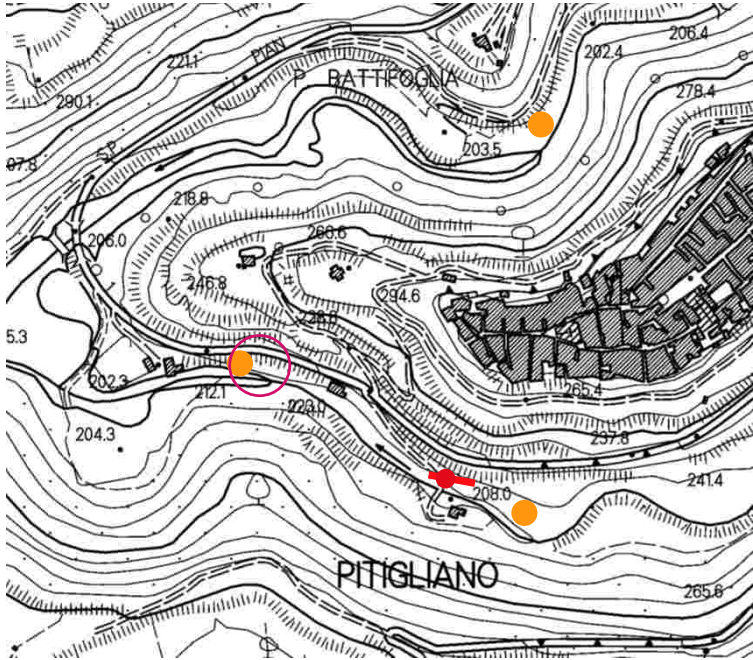
**INDAGINI GEOFISICHE**



**Analisi Multicanale delle Onde Superficiali (MASW)**



**PITIGLIANO-GR - 11 OTTOBRE 2016**

UBICAZIONE DELLE INDAGINI IN PROSSIMITA' DEL SITO DI COSTRUZIONE NELLO STESSO  
CONTESTO LITOLOGICO STRATIGRAFICO - SCALA 1:5.000



-  **Ppd**  
Prove penetrometriche dinamiche medie e pesanti
-  **PS-MASW**  
Profilo sismico a rifrazione con elaborazione MASW onde L

## Analisi Multicanale delle Onde Superficiali (MASW)

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde di volume o di corpo (onde P e S – “*Body Waves*”), più di due terzi dell’energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di ONDE SUPERFICIALI (“*Surface Waves*”), la cui componente principale è rappresentata dalle onde di Rayleigh (“*Ground Roll*”).

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica geofisica limitatamente invasiva di recente applicazione che, attraverso l’analisi delle onde di superficie (dispersione), ha lo scopo di ottenere profili  $V_s$ -Z (velocità delle onde di taglio – profondità).

Il fenomeno dispersivo delle onde superficiali (nel nostro caso onde di Rayleigh) si manifesta in un mezzo stratificato, in quanto diverse lunghezze d’onda si propagano con velocità di fase differente. A sua volta la velocità di fase dipende dalla frequenza e tale dipendenza viene espressa attraverso la curva di dispersione.

Esiste una relazione fondamentale che lega i tre parametri fondamentali che descrivono la propagazione nello spazio di un’oscillazione:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

dove:

- $\lambda$  lunghezza d’onda (misurata in metri);
- $f$  frequenza (in Hz);
- $v$  velocità di propagazione (in m/s).

A tal proposito, la profondità di esplorazione massima raggiungibile dipende dalle caratteristiche del mezzo dalla superficie fino ad una profondità indicativamente pari al valore di  $\lambda/2$  o  $\lambda/3$ . In riferimento a quest’ultimo aspetto, è buona regola operare con geometrie di acquisizione di lunghezza D prossima al doppio della profondità che si vuole indagare. Inoltre, è utile adoperare una distanza intergeofonica piccola (non superiore ai 2 metri) in modo tale da ottenere informazioni anche sugli strati più superficiali.

Il software qui utilizzato per il processing dei dati sismici acquisiti in campagna è *WinMASW 5.0 ver. Professional*, che consente di ricavare il profilo verticale delle  $V_s$ . Tale risultato viene ottenuto tramite l’inversione delle curve di dispersione delle Onde di Rayleigh.

Il metodo MASW si articola in tre passaggi successivi:

- Acquisizione delle onde superficiali di Rayleigh (“*Ground Roll*”) da effettuarsi in campagna con apposita strumentazione;
- Costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza);
- Inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle  $V_s$ .

Il primo punto riguarda la prova MASW eseguita “in situ” per ottenere il sismogramma relativo alle onde di Rayleigh. I passaggi successivi fanno riferimento all’elaborazione dei dati acquisiti in campagna mediante pc, utilizzando il software *winMASW 5.0 ver. Professional*. Il primo passo, una volta caricati i dati di campagna (sismogramma delle onde di Rayleigh) è quello di calcolare lo spettro di velocità e successivamente procedere con il *picking* della curva di dispersione.

Infine l’ultimo passaggio riguarda l’inversione della curva di dispersione precedentemente “piccata”. Questa viene effettuata grazie all’utilizzo di una potente tecnica di ottimizzazione (algoritmi genetici) da parte del software utilizzato. Dei valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità sono necessari per ottenere il profilo verticale  $V_s$  dalla curva di dispersione.

I risultati delle prospezioni vengono restituiti in allegato che include i grafici dei vari passaggi necessari per ottenere il grafico del profilo verticale delle  $V_s$ . In particolare come allegati vengono forniti:

- Traccia sismica registrata ad ogni geofono per lo sparo effettuato (input file);
- Spettro di velocità e Curva di Dispersione (picking);
- Grafico Misfit – Generazione e Profilo verticale Onde S;
- Colonna sismo-stratigrafica.

Attualmente la tecnica MASW, seppur presentando alcuni vantaggi rispetto alla sismica a rifrazione (es. operare in contesti con spazio limitato), è soggetta a limitazioni di tipo teorico (es. strati piano paralleli) e pratico (es. necessità di sorgenti energetiche a bassa frequenza), che unite alle difficoltà interpretative in assenza di un valido modello sismo-stratigrafico, pongono la massima cautela per l’utilizzo di questa tecnica come unico sistema di analisi. Infatti, l’ottimizzazione di tali prospezioni può essere ottenuta con la realizzazione di più stese (sismica a rifrazione per ricostruire l’andamento dei sismostrati) ed eventuali operazioni di taratura con la realizzazione di sondaggi di tipo puntuale (carotaggi, penetrometrie...). Nel nostro caso abbiamo preso come riferimento i sondaggi eseguiti nell’area oggetto di studio; si è inoltre fatto riferimento alla Carta Geologica dell’area ricavata dalla cartografia geologica della Regione Toscana.

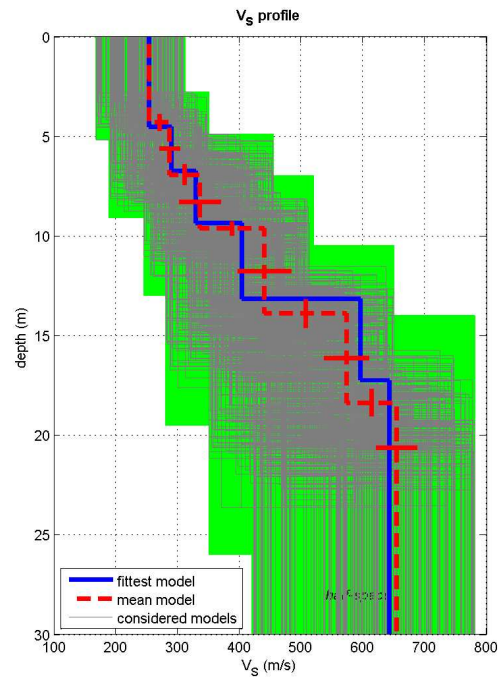
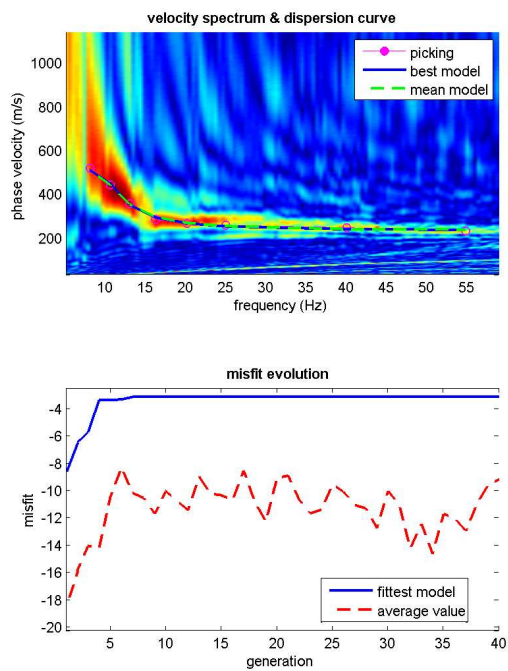
La prospezione sismica masw è stata eseguita, utilizzando 24 geofoni verticali con frequenza propria di 4,5 Hz interspaziati di 3 metri. Come punto di energizzazione è stato preso lo shot 1 (eseguito ad una distanza di 1,5 metri dal G1). La registrazione è stata campionata con un intervallo di 0,131 millisecondi per un tempo totale di acquisizione pari a 1 s (con un totale di 7656 campioni)

L’analisi MASW ha fornito profili di velocità  $V_s$  monodimensionale. Tra i vari modelli ottenuti mediante processo di inversione, viene adottato quello relativo al modello stratigrafico medio. La velocità delle  **$V_{s,30}$**  (a partire dal piano campagna) risulta essere pari a:

$$V_{s,30} = 432 \text{ m/s}$$

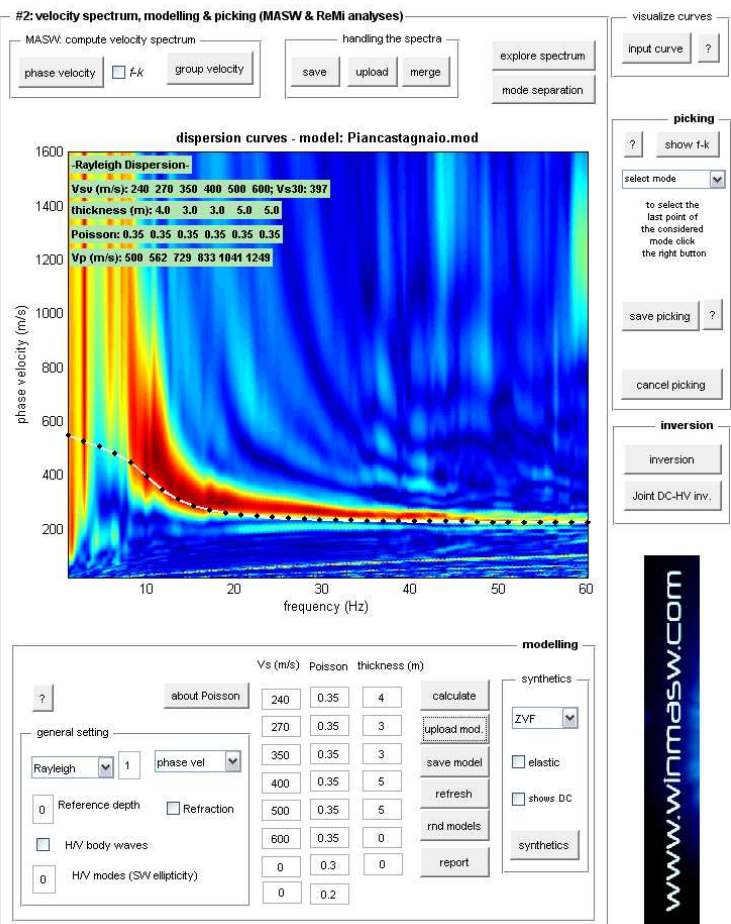
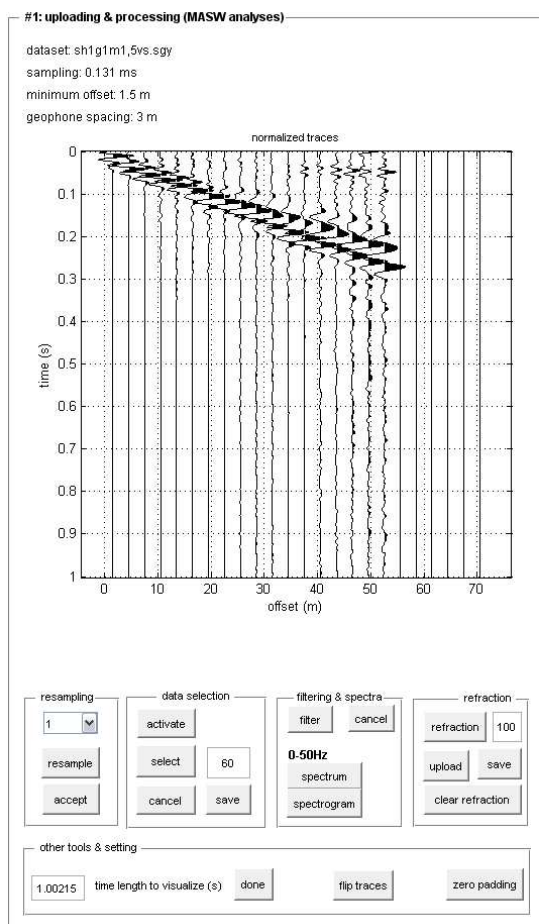
Il dato ricavato dall’indagine sismica MASW, in base alle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M.14-01-2008) e considerata anche la stratigrafia media supposta per l’area d’indagine, fa ricadere l’area oggetto di studio **nella Categoria di Suolo Sismico B**, ovvero: “*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensato o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30, caratterizzati da un graduale aumento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero  $N_{spt,30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $Cu_{30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina).*”





www.winmasw.com

dataset: sh1g1m1,5vs.sgy  
 dispersion curve: STR181012A.cdp  
 Vs30 (best model): 431 m/s  
 Vs30 (mean model): 432 m/s



www.winmasw.com

## 6. CONCLUSIONI

L'inquadramento geologico pone l'area d'indagine all'interno della formazione di origine vulcanica appartenente alla Provincia comagmatica romana denominata Formazione di Canino (sigla CAN), secondo le definizioni di cui al programma Valutazioni Effetti Locali della Regione Toscana.

In ordine all'assetto geomorfologico, l'area oggetto di studio presenta complessivamente buone condizioni di stabilità in virtù della presenza dell'ammasso roccioso tufaceo prossimo al piano di campagna, tuttavia con condizioni prossime allo stato di equilibrio dei terreni di copertura sia naturali che di origine antropica, tali da rendere necessarie adeguate misure finalizzate al sostegno di fronti di scavo necessari per la realizzazione dell'opera in progetto e adeguate modalità realizzative riguardo ai movimenti di terreno sia nelle fasi di cantiere che nei lavori di ripristino morfologico dell'area previsti alla fine dei lavori.

Le verifiche di stabilità condotte a livello di pendio complessivo, delimitato a monte da un pianoro in quota in prossimità del quale affiora l'ammasso roccioso consistente della formazione di origine vulcanica, e a valle dalla incisione d'alveo del corso d'acqua oggetto della derivazione, hanno dimostrato l'assenza di condizioni di rischio riguardo alla possibilità di fenomeni franosi di massa, con fattori di sicurezza risultati sovrabbondanti rispetto alle condizioni di equilibrio tra forze resistenti e forze mobilitanti.

Riguardo alle verifiche della fattibilità dell'intervento rispetto all'assetto idrogeologico e idraulico del territorio, non sono emerse condizioni critiche relativamente alla possibilità di modifiche indotte all'equilibrio idrogeologico dell'area complessiva sia in termini qualitativi che quantitativi, conseguenti alla realizzazione dei lavori e delle opere in progetto.

Rispetto in particolare alle condizioni di rischio idraulico, il corso d'acqua Fosso Meleta, oggetto della derivazione, è risultato nell'area per caratteristiche morfologiche, idrologiche e idrauliche, idoneo al completo deflusso delle portate di massima piena calcolate per tempi di ritorno duecentennali con sufficiente franco di sicurezza, tale da escludere il rischio nell'area di fenomeni di sormonto o esondazione e da rendere non necessarie misure finalizzate alla messa in sicurezza dell'area o alla mitigazione del rischio, data l'oggettiva assenza di rischio idraulico.

Con riferimento alla normativa vigente rispetto in particolare alle condizioni di fattibilità geologico ambientale definite per le opere in progetto sulla base della classificazione dei fattori di pericolosità dell'area oggetto d'intervento negli atti di pianificazione territoriale, si attesta quanto segue.

Per il rischio geologico sismico, la realizzazione dell'intervento secondo i dati di progetto e nel rispetto delle prescrizioni esposte nella presente relazione, non determina condizioni di instabilità e non modifica negativamente i processi geomorfologici presenti nell'area.

Per il rischio idraulico, le opere in progetto non costituiscono ostacolo al naturale deflusso delle acque e non incrementano il livello di rischio idraulico in altre aree, non comportando condizioni predisponenti all'aumento delle portate di piena nelle zone a valle.

La modellazione geotecnica del sito di costruzione ha evidenziato buone caratteristiche meccaniche del terreno che costituisce il sottosuolo di fondazione per un volume significativo, la cui stima dei parametri geotecnici consente di definire discreti valori della resistenza dei terreni rispetto alla rottura per taglio e alla deformabilità per sovraccarico.

Tenuto conto dei modesti carichi sui terreni rappresentati dalle opere in progetto, le caratteristiche dei terreni di fondazione garantiscono l'assenza di cedimenti tali da poter compromettere la funzionalità della struttura prevista dal progetto.

Per quanto esposto, sulla base delle osservazioni di carattere geologico e delle valutazioni degli elementi oggettivi raccolti, alla condizione che vengano tenute in debito conto le risultanze della presente indagine, nel rispetto di modalità esecutive, prescrizioni e valori limite ammissibili specificati, per la realizzazione dell'intervento previsto secondo gli elaborati di progetto, esprimo a riguardo parere di fattibilità geologica e idraulica e compatibilità idrogeologica e ambientale.

\*\*\*\*\*

SANTA FIORA, 24 NOVEMBRE 2016

Dott. Geologo Andrea Irsara

Ordine dei Geologi della Toscana n° 791

