



**COMUNE DI PIETRASANTA**

**Piano Attuativo EX COMPARTO 51 - Tonfano**

**PROPRIETÀ**

CONSORZIO COMPARTO 51  
Comune di Pietrasanta



STUDIO **PUCCI ASSOCIATI**

**PROGETTO E COORDINAMENTO GENERALE P.A.**

STUDIO PUCCI ASSOCIATI

arch. Enrico PARDUCCI  
arch. Marco BETTINI

Collaboratore (elab. grafica)  
ing. Francesca FASCIONE



**PROGETTO OPERE PUBBLICHE**

Studio Tecnico ing. Massimo CECCARINI



**QUADRO VALUTATIVO PRELIMINARE  
E COMPATIBILITÀ PAESAGGISTICA**

Soc. Terre.it S.r.l. (Spin Off di UNICAM)  
arch. Fabrizio CINQUINI  
arch. Michela BIAGI  
arch. Paolo PERNA

Collaboratore (elab. grafica)  
arch. Marcella CHIAVACCINI  
ing. Sara DI RITA

# RELAZIONE GEOLOGICA

G&Geo  Studio Geologi Associati



Via Aurelia Sud, 14  
55045 Pietrasanta (LU)  
Part. IVA 02378660464  
T+F (+39) 0584.1848216  
C 335.6090871(M) 349.5926076(V)  
info@gegeo.it

Michele Giovannetti  
Vanessa Greco  
Geologi

**INDAGINI GEOLOGICO-TECNICHE**

Vanessa GRECO  
GEOLOGO

**RILIEVI STRUMENTALI E TOPOGRAFICI**  
geom. Alessio MAZZETTI

**STUDIO FORESTALE**

Città Futura snc  
dott. Claudio LORENZONI  
per. agr. Stefano STRANIERI



## INDICE

<b>1.- PREMESSA .....</b>	<b>6</b>
1.1 - Quadro normativo	6
1.2 - Previsioni di Piano	7
<b>2. - MODELLAZIONE GEOLOGICA.....</b>	<b>9</b>
2.1. - Quadro tettonico dell'area	9
2.1.1. - Quadro Strutturale .....	10
2.2. - Quadro geologico - geomorfologico	12
2.2.1. - Quadro stratigrafico .....	13
2.3. - Quadro litotecnico	13
2.3.1. - Quadro litotecnico di dettaglio.....	14
2.4. - Quadro di dinamica costiera	15
2.5 - Idrogeologia	19
2.5.1. - Salinizzazione della falda dunale costiera .....	20
<b>3. - SISMICITA' DEL TERRITORIO.....</b>	<b>23</b>
3.1 - Sismicità storica	23
3.2 - Zonizzazione sismica nazionale e regionale	25
3.3 - Definizione della sismicità di riferimento	29
3.3.1. - Categoria di suolo di fondazione .....	31
3.3.2. - Indagini a stazione singola HVSR .....	34
3.4 - Possibili effetti di amplificazione dinamica	37
3.4.1. - Liquefazione.....	37
3.4.2. - Cedimenti.....	40
<b>4. - PERICOLOSITA' DELL'AREA .....</b>	<b>42</b>
4.1. - Pericolosità Geomorfologica	42
4.2. - Pericolosità Litotecnica	43
4.3. - Pericolosità per subsidenza	44
4.4. - Pericolosità Sismica	44

4.5. – Pericolosità per problematiche Idrogeologiche	45
4.6. – Pericolosità Idraulica	45
4.7. – Prospetto riassuntivo delle pericolosità dell'area di interesse	47
5. – FATTIBILITA' .....	48
5.1 – Determinazione della fattibilità	48
5.2 – Prescrizioni e limitazioni relative alle varie classi di fattibilità	51
5.2.1. – Criteri di Fattibilità in relazione agli aspetti Geologici.....	52
5.2.1.1 – Prescrizioni delle NTA del R.U. comunale in relazione alla fattibilità geologica	52
5.2.1.2 – Prescrizioni delle NTA del R.U. comunale in relazione alla fattibilità litotecnica	53
5.2.2. – Criteri di Fattibilità in relazione agli aspetti Idraulici.....	55
5.2.2.1 – Prescrizioni delle NTA del R.U. comunale in relazione alla fattibilità idraulica	56
5.2.3 – Criteri di Fattibilità per le situazioni connesse subsidenza .....	56
5.2.4. – Criteri di Fattibilità in relazione agli aspetti Sismici.....	56
5.2.4.1 – Prescrizioni delle NTA del R.U. comunale in relazione alla fattibilità sismica	57
6. – VALUTAZIONI AMBIENTALI E RELATIVE PRESCRIZIONI .....	58
6.1 –Salvaguardia e tutela delle risorse idriche superficiali	58
6.2 – Impermeabilizzazione dei suoli	58
6.2.1 – Determinazione del volume minimo di invaso.....	60
6.2.1.1 – Parametri Idrologici e coefficienti di deflusso delle superfici scolanti	60
6.2.1.2 – Calcolo della portata allo stato attuale	65
6.2.1.3 – Calcolo della portata allo stato modificato e Calcolo della le volumetrie da ritenere e possibili soluzioni progettuali	66
6.3 – Tutela delle risorse idriche sotterranee	69
6.4 – Terre e rocce da scavo	70

\*\*\*

## FIGURE NEL TESTO

<i>Figura 1 - Schema interpretativo della struttura dell'appennino settentrionale. ....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 2 - Schema tettonico dell'appennino settentrionale .....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 3 - Direzione del trasporto litoraneo tra Livorno e Bocca di Magra. ....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 4 - Spostamento medio della linea di riva tra Livorno e Bocca di Magra tra il 1938 ed il 19998.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 5 - Pianura costiera apuana (Sestini, 1950) 1. Tratti di ripa visibili. - 2. Probabile posizione della linea di costa durante l'ultima trasgressione. - 3. Curve di livello con equidistanza di 5m (solo sui coni di deiezione). La punteggiatura indica la zona sabbiosa, il tratteggio distingue le formazioni montane delle Apuane. ....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 6 - Schema dell'equilibrio costiero tra acqua dolce ed acqua marina.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 7 - Schema degli effetti indotti dal pompaggio di acque di falda sull'equilibrio costiero tra acqua dolce ed acqua marina .....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 8 - Diagramma della storia sismica del Comune di Forte dei Marmi. ....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 9 - Sorgenti sismogenetiche su base google earth (INGV - DISS v 3.1.0).....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 10 - Zonazione sismogenetica ZS9. ....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 11 - Zona sismogenetiche e principali epicentri. ....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 12 - Carta della Pericolosità sismica della Regione Toscana.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 13 - Grafico di disaggregazione Magnitudo-Distanza Epicentrale. ....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 14 - Colonnine stratigrafiche rappresentative (Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica) .....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 15 - LSPP col metodo di Gumbel per <math>Tr 2 \div 50</math> anni. ....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 16 - LSPP col metodo TCEV in funzione della durata della pioggia e del tempo di ritorno (Istituto Idrografico e Mareografico). ....</i>	<i>63</i>

\*\*\*

<i>Tabella 1 - Principali elementi proposto dal Piano Attuativo.....</i>	<i>8</i>
<i>Tabella 2 - Parametrizzazione dei terreni. ....</i>	<i>15</i>
<i>Tabella 3 - Principali eventi sismici per l'area di interesse. ....</i>	<i>24</i>
<i>Tabella 4 - Dati della zona 916. ....</i>	<i>26</i>

<i>Tabella 5 - Zone Sismiche del territorio italiano.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabella 6 - Coefficienti spettrali.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabella 7 - Categorie di suolo.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabella 8 - Risultati indagine HVSR N.B. In grassetto è riportata la profondità del contrasto riferito al picco massimo F0. ....</i>	<i>36</i>
<i>Tabella 9 - Vulnerabilità alla liquefazione secondo Youd e Perkins (1978), Iwasaki et Ali. (1982)38</i>	
<i>Tabella 10 - Condizioni di pericolosità all'interno dell'area di Piano. ....</i>	<i>47</i>
<i>Tabella 11 - Condizioni di pericolosità per ogni sub-comparto. ....</i>	<i>47</i>
<i>Tabella 12 - Fattibilità sub-comparto A. ....</i>	<i>49</i>
<i>Tabella 13 - Fattibilità sub-comparto B1. ....</i>	<i>50</i>
<i>Tabella 14 - Fattibilità sub-comparto B2-B3.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabella 15 - Fattibilità sub-comparto P1. ....</i>	<i>51</i>
<i>Tabella 16 - Fattibilità sub-comparto p2.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabella 17 - Fattibilità sub-comparto p3.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabella 18 - Precipitazioni estreme in mm, registrate dalla stazione di Viareggio (Lu) per durate di pioggia superiore ad un ora.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabella 19 - Parametri caratteristici della LSPP col metodo di Gumbel, per Tr 2 ÷ 50 anni. ....</i>	<i>62</i>
<i>Tabella 20 - Valori tipici del coefficiente di afflusso in funzione della superficie. ....</i>	<i>65</i>
<i>Tabella 21 - Superfici scolanti del PA e loro caratteristiche di permeabilità.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabella 22 - Volumetrie da ritenere per ogni sub-comparto.....</i>	<i>68</i>

\*\*\*

## ALLEGATO

Indagini di riferimento

\*\*\*

## TAVOLE

### TAVOLA 1

FIG. 1 - COROGRAFIA	SCALA 1:5.000
FIG. 2 - CARTA GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA	SCALA 1:5.000
FIG. 3 - CARTA LITOTECNICA	SCALA 1:5.000
FIG. 4- CARTA IDROGEOLOGICA	SCALA 1:5.000

### TAVOLA 2

FIG. 1 - CARTA DELLA PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA	SCALA 1:5.000
FIG. 2 - CARTA DELLA PERICOLOSITÀ LITOTECNICA	SCALA 1:5.000
FIG. 3 - CARTA DELLA PERICOLOSITÀ PER SUBSIDENZA	SCALA 1:5.000
FIG. 4 - CARTA DELLE ZMPSL	SCALA 1:5.000
FIG. 5 - CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA	SCALA 1:5.000

FIG. 6 - CARTA DELLA PERICOLOSITA' PER  
PROBLEMATICHE IDROGEOLOGICHE SCALA 1:5.000

FIG. 7 - CARTA DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA SCALA 1:5.000

TAVOLA 3

FIG. 1 - CARTA DEI DATI DI BASE SCALA 1:1.000

FIG. 2 - SEZIONI LITOSTRATIGRAFICHE SCALA 1:100

## 1.- PREMESSA

### 1.1 – Quadro normativo

La presente relazione sulle indagini geologico-tecniche è stata redatta in supporto al piano Attuativo denominato “EX – COMPARTO 51” proposto sul territorio del Comune di Pietrasanta (LU) in Loc. Tonfano.

La Corografia dell’area di indagine è riportata in TAVOLA 1 – Fig. 1.

Nella presente Relazione Tecnica sono espresse valutazioni sulla compatibilità tra le previsioni urbanistiche e le condizioni di pericolosità del territorio dal punto di vista geologico - geomorfologico, idraulico e sismico, oltre che sulla fattibilità stessa degli interventi, in ottemperanza con le normative vigenti, quali:

- LEGGE REGIONALE 10 novembre 2014, n. 65;
- L.R. n.49/1995 “Norme sui parchi, le riserve naturali e le aree naturali protette di interesse locale”;
- D.P.R.G. n. 53/R del 25 Ottobre 2011 (Regolamento di attuazione dell’art. 62 della L.R. n.1 del 3 Gennaio 2005 in materia di indagini geologiche), in vigore dal 3 Dicembre 2011;
- Piano di Indirizzo Territoriale con valenza di Piano Paesaggistico Deliberazione Consiglio Regionale 2 luglio 2014, n.58;
- P.A.I. dell’Autorità di Bacino Toscana Nord;
- Del.G.R. n.878 del 08.10.2012, in base alla quale il Comune di Forte dei Marmi risulta classificato sismico e collocato in “zona 3”;
- D.M. 14.01.2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni);
- D.P.G.R. 36/R del 2009, regolamento di attuazione dell’art. 117 della L.R.1-2005 (Disciplina delle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico);
- D. Lgs. 152/2006, D.Lgs. 4/2008 art. 185-186 e s.m.i. (“terre e rocce da scavo”);
- D.P.G.R. n.46/R del 2008, Regolamento di attuazione della L.R. n.20/2006 (Norme della tutela delle acque dall’inquinamento) titolo V (Disciplina delle acque meteoriche dilavanti) e L.R. n.18 del 2010, recentemente aggiornata con D.P.G.R. 76/R del 17.12.2012;
- Vincolo Idrogeologico: L.R. 39/2000 e s.m.i. e suo Regolamento di Attuazione
- L.R. n. 79 del 27/12/2012;
- L.R. . 60 del 28/15/2013;
- L.R. 21/2012

Il presente elaborato è stato sviluppato in riferimento sia ai dati raccolti e già sintetizzati nel corso della redazione del Piano Strutturale del Comune di Pietrasanta e

del successivo Regolamento urbanistico<sup>1</sup> sia facendo ricordo ad approfondimenti di indagine eseguiti dalla scrivente nel corso di dune campagne geognostiche:

- OTTOBRE 2004:
  - a. Penetrometrie dinamiche DPM, n. 3
  
- GIUGNO 2015:
  - a. Penetrometrie dinamiche DPSH, n. 3
  - b. Indagini di sismica a rifrazione di tipo MASV, n. 2
  - c. Indagini sismiche di rumore ambientale di tipo HVSR

Dal momento che la topografia del territorio è sostanzialmente sub-pianeggiante si è omessa la Carta della Acclività in quanto non significativa.

Gli elaborati che verranno redatti in allegato al presente Rapporto Tecnico sono i seguenti:

- TAVOLA 1
  - Fig. 1 - Corografia Scala 1:10.000
  - Fig. 2 - Carta Geologico - Geomorfologica Scala 1:5.000
  - Fig. 3 - Carta Litotecnica Scala 1:5.000
  - Fig. 4 - Carta Idrogeologica Scala 1:5.000
  
- TAVOLA 2
  - Fig. 1 - Carta della Pericolosità Geologica Scala 1:5.000
  - Fig. 2 - Carta della Pericolosità Litotecnica Scala 1:5.000
  - Fig. 3 - Carta della Pericolosità per subsidenza Scala 1:5.000
  - Fig. 4 - Carta delle MOPS Scala 1:5.000
  - Fig. 5 - Carta della Pericolosità Sismica Scala 1:5.000
  - Fig. 6 - Carta della Vulnerabilità Idrogeologica Scala 1:5.000
  - Fig. 7 - Carta della pericolosità Idraulica Scala 1:5.000
  
- TAVOLA 3
  - Fig. 1 - Planimetria di dettaglio ed ubicazione delle indagini Scala 1:1.000
  - Fig. 2 - Sezioni Litostratigrafiche Scala 1:100

Si fa presente che i perimetri riportati sulle suddette tavole hanno valore di riferimento ma nel dettaglio i perimetri d'ambito e di comparto che devono essere considerati urbanisticamente sono quelli segnati su cartografia di riferimento dai progettisti incaricati.

## 1.2 - Previsioni di Piano

Il piano di recupero interessa due lotti di terreno separati dalla via Catalani in

---

<sup>1</sup> Variante di Manutenzione al P.S., 2011 - Dott. Geol. F. Ceccarelli;  
Regolamento Urbanistico, .2014 - - Dott. Geol. F. Ceccarelli.

Loc. Tonfano, entrambi allo stato naturale ed occupati da vegetazione spontanea bassa associata da specie ad alto fusto.

Il lotto di superficie inferiore è ubicato tra la via Bellini a SE e la via Catalani a NE, mentre sugli altri due lati confina con proprietà private; il lotto più grande invece è compreso tra la via Catalani a SO, la via Bellini a NO, la via Indipendenza a SE e termina all'altezza dell'intersezione della via Bellini con la via Piave.

Il Piano prevede la realizzazione di alloggi per un totale di 48, spazi a verde, piscine, parcheggi e campi da tennis e percorsi interni, oltre che nuova viabilità ed aree a parcheggio. Nel contesto del presente piano saranno cedute aree ad uso pubblico destinate alla realizzazione di parcheggi e nuova viabilità.

Per i dettagli inerenti la disposizione e la tipologia delle previsioni si faccia riferimento agli elaborati redatti dai progettisti incaricati della pianificazione urbanistica, tuttavia ai fini di tracciare un quadro di massima si presentano in tabella 1 alcune indicazioni ad essa relative:

	A	B1	B2-B3	P1	P2	P2
EDIFICATO	X	X	X			
PARCHEGGI-VIABILITA'	X	X	X	X	X	X
PISCINE	X		X			P2

	A	B1	B2-B3
PIANI FUORI TERRA	4	4	3
PIANI INTERRATI	1	1	0
N. ALLOGGI	50	20	28



**Tabella 1** - Principali elementi proposto dal Piano Attuativo.

## 2. - MODELLAZIONE GEOLOGICA

### 2.1. - Quadro tettonico dell'area

Il territorio amministrativo del comune di Pietrasanta da un punto di vista geologico è interessato dalla presenza di due domini strutturali distinti:

- le Alpi Apuane;
- il Bacino Neotettonico della Versilia.

Quest'ultimo, comprendente l'alta pianura versiliese, si è formato in seguito a cicli trasgressivi e regressivi marini iniziati circa 80.000 anni fa. Più in particolare, è il risultato sia di movimenti gladio-eustatici, sia di apporti sedimentari da parte dei fiumi Arno, Serchio, Magra e di altri corsi minori, tra cui il Versilia e il Camaiore.

Il meccanismo di formazione della pianura è stato quello classico di ambiente costiero: formazione successiva di lidi sabbiosi paralleli ai rilievi montuosi, con lagune e stagni retrodunari talora di ampie dimensioni; il lago di Massaciuccoli e l'area paludosa alla spalle di Viareggio, sono il più vistoso residuo dei numerosi specchi d'acqua che si erano formati tra i lidi versiliesi. Nella zona d'interesse, tracce, seppur meno evidenti, sono rappresentate dall'area dell'ex Lago di Porta.

I primi depositi sabbiosi, sciolti e fini, derivati da eolianiti silicee molto evolute, morfologicamente disposti in cordoni dunari, si rilevano già a partire da 4-5 chilometri dalla linea di costa.

Per ciò che concerne l'origine e la provenienza dei sedimenti costituenti i depositi alluvionali, è chiaramente da ricercarsi nelle formazioni costituenti la catena apuana.

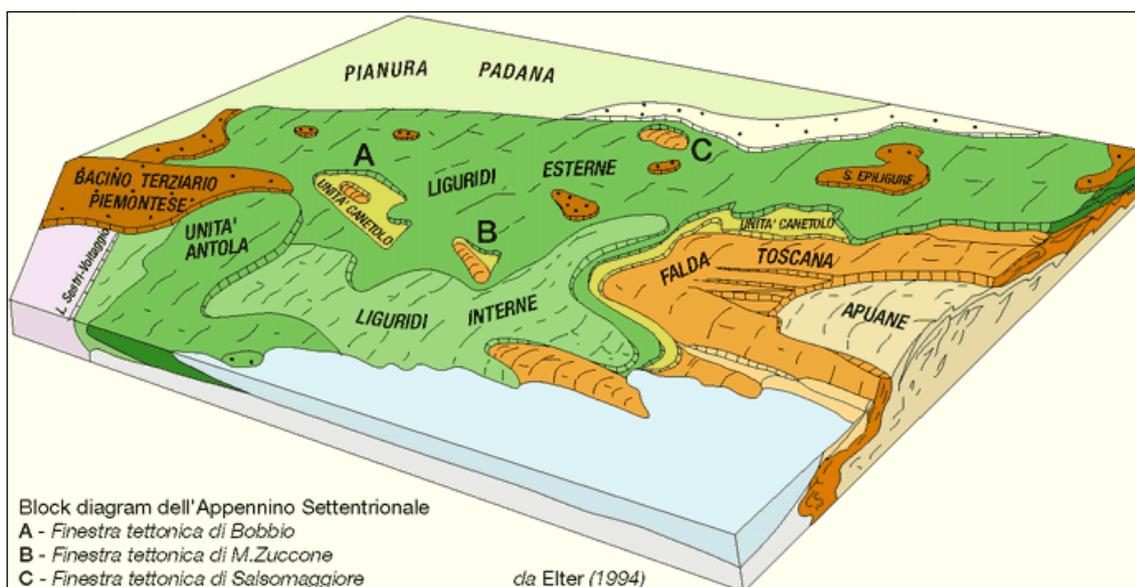
Quest'ultima è essenzialmente costituita da un nucleo di formazioni metamorfiche sovrascorse su una serie autoctona più antica, paleozoica. Il sollevamento, con movimenti da Ovest verso Est, è iniziato nel tardo Oligocene ed è continuato fino al Miocene superiore.

In particolare il quadro di deformazione riconoscibile nel massiccio apuano è legato all'evoluzione tettogenetica del margine continentale "italo - adriatico". Dopo la fase di compressione e sollevamento, responsabile dell'impilamento e dei sovrascorrimenti delle varie unità tettoniche, terminata come detto nel Miocene superiore (circa 14-12 m.a.), è seguita una fase distensiva, tuttora in atto, che ha portato al collassamento della catena e l'impostazione di grandi famiglie di faglie dirette con formazione dei graben del Serchio, Magra-Vara e più in generale di quello

costiero entro cui si è poi formato il bacino versiliese, e che delimitano l'horst metamorfico apuano.

Sostanzialmente il massiccio apuano è caratterizzato dall'affioramento delle seguenti Unità, dal basso verso l'alto:

- "Autoctono": nucleo metamorfico delle Alpi Apuane e scaglie tettoniche del "Parautoctono" di età paleozoico - mesozoica;
- "Falda Toscana";
- "Unità Liguri".



**Figura 1** - Schema interpretativo della struttura dell'appennino settentrionale.  
(P. Elter, 1994)

### 2.1.1. - Quadro Strutturale

Le Alpi Apuane sono il risultato di una deformazione polifasica che ha interessato un'ampia fascia di crosta continentale ercinica e la sua copertura sedimentaria. In questa fascia, ubicata al margine della placca italo-adriatica, si è generata, a causa della collisione di due placche continentali, peraltro forse già indebolita dall'apertura triassica del bacino alpino -appenninico, una zona di taglio crostale.

La fase compressiva si è sviluppata sotto il carico della coltre di ricoprimento costituita dalla Falda Toscana e dalle sovrastanti Unità Liguri, già sovrascorse su quest'ultima. Questa situazione ha creato condizioni tali da favorire aumenti di temperatura e quindi lo sviluppo di fenomeni di metamorfismo. La contemporanea presenza di diffuse superfici di taglio ha favorito peraltro la formazione di pieghe estremamente appiattite e allungate.

Il fatto che nelle Alpi Apuane gran parte della strutturazione sia il risultato di una deformazione eterogenea complessa e progressiva ha, comunque, portato a

inevitabili controversie interpretative sul numero di fasi tettoniche, sul significato stesso di alcune strutture e sul loro inquadramento nel contesto tettonico, sortendo l'effetto di non produrre un quadro di riferimento, non tanto definitivo, ma almeno chiaro e sintetico.

Nel tempo i vari studi eseguiti hanno portato ad individuare diversi modelli deformativi. Secondo vari autori erano riconoscibili, sostanzialmente, tre fasi tettoniche:

- prima fase: la Falda Toscana con le sovrastanti Unità Liguri sovrascorse sulla serie apuana viene metamorfosata e deformata con formazione di pieghe coricate chiuse e stirate, con piani assiali suborizzontali e con scistosità spinta che maschera completamente l'originaria stratificazione. In questa fase l'Unità di Massa viene trascinata dalla Falda Toscana sulle metamorfiti;
- seconda fase: caratterizzata ancora da pieghe chiuse e/o asimmetriche, riprende e deforma anche i contatti e i lineamenti della prima fase, è riconoscibile nella fascia tra il bacino del Frigido e il Sumbra e la Turrice Secca;
- terza fase: caratterizzata da piegamenti asimmetrici, aperti e con scistosità "coniugate" ed interessa tutto il nucleo apuano.

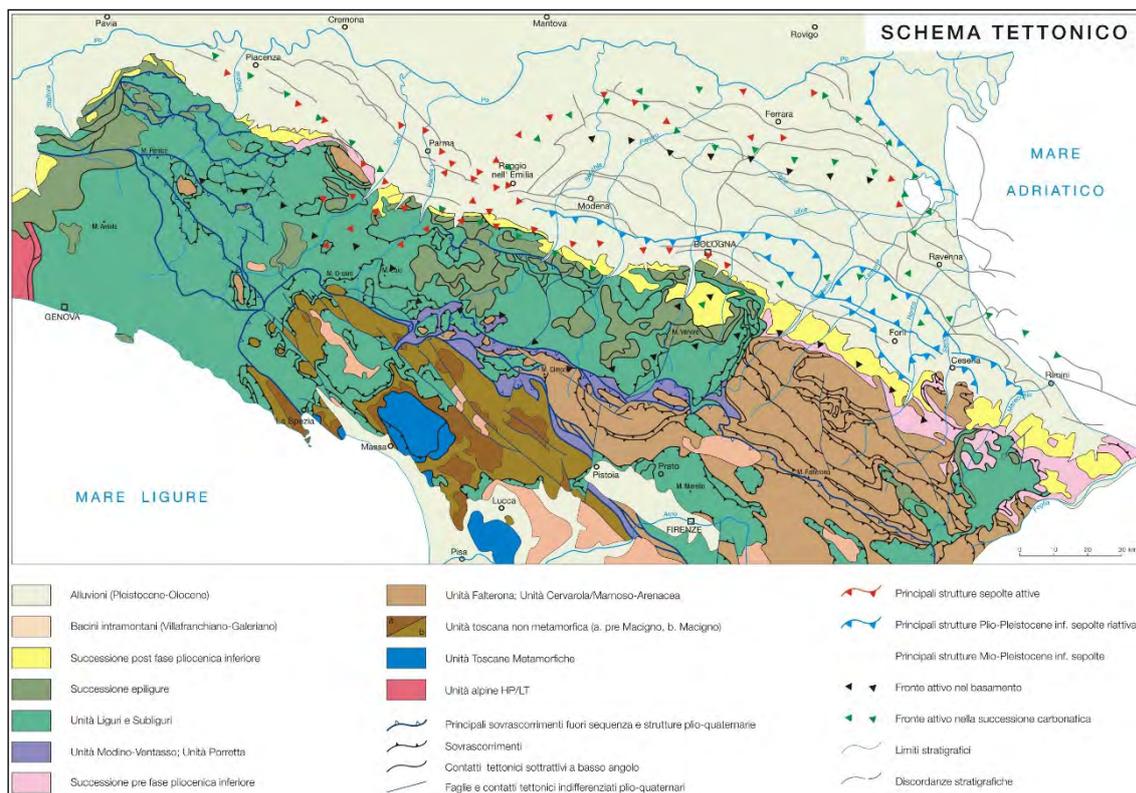
Altri autori (Carmignani et Alii) con successive interpretazioni, individuano una prima fase tettonica compressiva, terziaria, collegata allo sviluppo di una zona di taglio ensialica, che coinvolgerebbe le varie unità (toscana, ligure ecc.).

A questa, seguirebbe una seconda fase tardiva di tipo estensionale, a partire dal tardo Miocene inferiore, dovuta sempre alla dinamica interna del sistema collisionale, seguita in maniera più o meno diretta dall'apertura del Mar Tirreno.

Sia i rapporti tra la tettonica estensionale in zona apuana e il regime tettonico che porta all'apertura del bacino tirrenico, sia l'attribuzione di alcune strutture apuane alla prima o alla seconda fase (di Carmignai et Alii) sono state in tempi recenti a loro volta messi in discussione, con formulazione di nuovi modelli deformativi alternativi (Jolivet et Alii 1998, Boccaletti et Alii 1998 ecc.).

Si riscontrano quindi molteplicità di posizioni e di interpretazioni sui meccanismi di deformazione. Tuttavia l'attuale assetto strutturale del complesso apuano è comunque, a detta di tutti gli autori, il risultato di una deformazione polifasica sviluppatasi in modo eterogeneo.

Ad una prima fase in cui si realizza l'impilamento delle falde (toscana, ligure ecc.) e la strutturazione principale a scala regionale, seguono una o più fasi, a seconda degli autori, che riprendono le strutture precedentemente sviluppate. I vari eventi deformativi generano differenti sistemi di pieghe e zone di taglio che nell'insieme compongono un pattern deformativo eterogeneo e complesso, ancora oggetto di controversi studi ed interpretazioni.



**Figura 2** – Schema tettonico dell'appennino settentrionale (Boccaletti et alii, 2004, modificata).

## 2.2. – Quadro geologico - geomorfologico

Come detto, l'area oggetto del piano è ubicata sui terreni d'origine eolica e/o marina e alluvionali della piana costiera versiliese.

Come mostrato nell'elaborato di TAVOLA 1 - Fig. 2 E Fig. 3 i depositi affioranti all'interno del perimetro di Piano sono:

- depositi eolici e di spiaggia “d” (olocene): prevalentemente sabbie, con possibili intercalazioni limose;
- depositi palustri “e3a”: limi e limi torbosi.

In particolare i depositi sabbiosi sono ampiamente diffusi su tutta l'area, mentre quelli limo-torbosi si dispongono parallelamente alla linea di costa soltanto presso la porzione di area di piano più piccola disposta a tra la via Catalani a NE e la via Bellini a SE.

La ristretta area di studio da un punto di vista geomorfologico, viene a collocarsi sul margine interno della fascia dunare costiera; è pianeggiante con dislivelli tra punto e punto decimetrici e con quota variabile da 1,0 (porzione NE del comparto) e 2.0 m sul livello mare (porzione centrale). L'area è discretamente antropizzata all'interno ma è pressochè priva di edificato al suo interno, fatta eccezione per due fabbricati residenziali nella sua parte mediana.

Ad oggi il territorio comunale, in questa fascia di pianura costiera è, comunque, antropizzato al punto che l'antica struttura del sistema dunale litoraneo è andata pressoché distrutta.

Gli elementi idrografici di rilievo nell'area sono: il Fosso Fiumetto, il cui corso con direzione NO-SE descrive una curva di circa 90°, ad una distanza di circa 800 m dall'area del comparto, per poi sfociare in mare con direzione SO-NE; ed il suo affluente denominato Fosso Tonfano che vi si immette in sinistra idrografica all'interno della Pineta della Versiliana, circa 900 m a NO del sito studiato.

Il quadro geologico descritto, è illustrato in TAVOLA 1 - Fig. 2 con scala 1:5.000.

### 2.2.1. - Quadro stratigrafico

La stratigrafia dell'area è stata influenzata dal succedersi delle fasi climatiche e deposizionali che hanno caratterizzato la recente storia geologica dell'area.

I numerosi studi eseguiti nel tempo sulla pianura e le stratigrafie dei sondaggi geognostici e/o pozzi, reperibili in bibliografia, confermano tale evoluzione sedimentaria e mostrano come i depositi quaternari si estendono ben oltre i 200 metri di profondità.

La stratigrafia di un pozzo profondo eseguito nella zona del Campo Sportivo di Marina di Pietrasanta, poco a Nord Est rispetto all'area del comparto, ha evidenziato una netta prevalenza di depositi sabbiosi fino a circa 10-12 metri di profondità. A partire da tale profondità compare una successione di limi e argille con intercalazioni di ghiaie, che assumono spessori sempre più importanti all'aumentare della profondità. Spostandosi più verso mare, le sabbie superficiali, come hanno mostrato vari sondaggi, aumentano di spessore, raggiungendo e talora superando i 30 metri.

Le sabbie più superficiali, sono: in parte di origine eolica, grossolane, a granuli arrotondati e con inclusioni di residui vegetali, ed in parte di origine marina, a grana fine limose con abbondante malacofauna fossile. L'orizzonte è nel complesso costituito da sabbie silicee (tenore  $\text{SiO}_2 > 90\%$ ) e rappresenta i depositi della seconda oscillazione temperata, tra il Wurm II e il Wurm III.

I limi e le argille immediatamente sottostanti sono da correlare al secondo periodo freddo (Wurm II). Le prime intercalazioni ghiaiose, rilevabili sotto le argille oltre i 30 metri di profondità e di origine continentale di conoide, rappresentano la prima acme dell'ultima glaciazione (Wurm I).

## **2.3. - Quadro litotecnico**

Da un punto di vista litotecnico come mostrato nell'elaborato di TAVOLA 1 - Fig. 3, tenuto conto delle caratteristiche litologiche e geotecniche, le formazioni affioranti all'interno del perimetro del PA considerato ricadono nelle unità della classe

litotecnica "s" e "t", rispettivamente corrispondenti a:

- classe "s": depositi sabbiosi a diversa granulometria, da mediamente a molto addensati, talora con intercalazioni di sabbie limose e limo.

Si tratta di successione di sabbie con caratteristiche di resistenza al taglio discrete. Nei primi metri (2-3) è tuttavia frequente registrare minore addensamento e conseguentemente caratteristiche più mediocri.

- classe "t": depositi torbosi lacustri a bassa portanza, scarsamente addensati, talora con lenti di materiale organico.

Si tratta di depositi da mediamente sciolti a compressibili, con scarsa resistenza al taglio.

### 2.3.1. - Quadro litotecnico di dettaglio

Il quadro geostratigrafico dell'area d'intervento ed i parametri geotecnici dei terreni sono stati ricostruiti grazie all'esecuzione di una campagna di indagine che ha affiancato dati già a disposizione raccolti nel 2004. Più nel dettaglio per indagini eseguite all'interno del comparto sono:

#### Campagna 2004

N. 4 Penetrometrie dinamiche medie DPM spinte fino alla profondità di 6.0 m dal p.c.;

#### Campagna 2015

N. 3 Penetrometrie dinamiche superpesanti DPSH spinte fino alla profondità di 9.4 m dal p.c.

Le prove eseguite hanno evidenziato la presenza di terreni prevalentemente sabbiosi, caratterizzati da grado di addensamento scarso nei primi metri dal p.c., generalmente crescente con la profondità.

La porzione del comparto compresa tra via Bellini a SE e via Catalani a NE è caratterizzato dalla presenza, nei primi 4 metri dal p.c. di terreni limoso - argillosi con livelli torbosi

In TAVOLA 3 - Fig. 1 è riportata l'ubicazione delle indagini effettuate, complete di indicazione del livello di falda dal p.c. misurata all'interno dei tubi piezometrici installati nel foro di prova.

La Fig. 2 di TAVOLA 3 ricostruisce quattro sezioni litostratigrafiche, rappresentative dei terreni presenti nelle varie porzioni del comparto di interesse, si espongono di seguito i caratteri geotecnici salienti dei terreni individuati

Il quadro geotecnico ha consentito di discretizzare i seguenti orizzonti, dotati di geometria e spessori differenti sulle varie verticali di indagine, come meglio

rappresentato in Fig. 2 di TAVOLA 3.

Più nel dettaglio, l'Orizzonte A, affiorante e dotato di scarsa qualità geotecnica, presenta spessori generalmente compresi tra 0.4-1.0 m, tranne che nel caso della prova DPSH2 dove comprende al suo interno l'Orizzonte X, costituito da materiale sciolto e molto comprimibile, a sua volta dotato di uno spessore di 1.4 m.

Sulla verticale di DPSH2 l'Orizzonte A si sviluppa fino a 3.8 m dal p.c. locale.

L'orizzonte B è rappresentato dalle alternanze sabbiose e sabbioso-limose a vario grado di addensamento e qualità geotecnica media, che hanno il livello di base sulle diverse verticali di indagine a quota variabile tra circa 4.5 e 7.5 m dal p.c.

Diversamente dalle altre nel caso delle prove DPM2 e DPSH3 (Sezione 3) non è stato possibile individuare il passaggio con il sottostante Orizzonte C, dotato di migliori caratteristiche geotecniche ed intercettato dalle altre prove alla base della sequenza indagata.

La parametrizzazione geotecnica di massima dei terreni presenti nell'area oggetto di PA è sintetizzata nella seguente Tabella:

Orizzonte	Descrizione	Nspt			Dr	mv	Cu
			(°)	(g/cm3)	(%)	(cm2/kg)	(kg/cm2)
A	Terreno vegetale passante a limo argillo-sabbioso sciolto o poco addensato.	3-5	27	1,8	20	0,025-0,022	---
B	Alternanze di sabbie fini limose poco addensate (B') e sabbie limose moderatamente addensate (B'').	6-8 10-14	28-	1,85	25-	0,019 0,009	---
			29		35		
			30-		40-		
			31		45		
C	Sabbie medie e fini moderatamente addensate.	15-19	32-33	1,9	45	0,01-0,007	---
X	Limo argillo-sabbioso sciolto o molto sciolto, con livelli torbosi soffici.	1-2	25	1,7	<15	0,1	0,1

Tabella 2 - Parametrizzazione dei terreni.

## 2.4. - Quadro di dinamica costiera

Il tratto di litorale in cui si inserisce la costa Apuo-Versiliese ha subito nel corso degli ultimi 2000 anni importanti cambiamenti a seguito della trasformazione di aree boscate in aree agricole da parte dei primi abitanti della zona, con conseguente aumento dell'erosione e quindi del volume dei sedimenti trasportati a valle dai fiumi.

In questo lasso di tempo, la linea di costa avanzò di circa 2.5-4.5 km e l'abbondante apporto di sedimenti consentì, grazie al trasporto delle onde del mare, la

formazione di vaste spiagge sabbiose.

E' solo più tardi, precisamente negli ultimi 150 anni, che alcune attività umane volte ad esempio alla stabilizzazione dei pendii e/o all'estrazione di depositi d'alveo per scopi edilizi, hanno causato una inversione di tale tendenza, portando ad un sempre minore trasporto di sedimenti verso il mare da parte dei fiumi, i quali, e tra essi il Fiume Arno, hanno visto a causa di questo scomparire progressivamente le strutture deltizie che avevano formato nei secoli precedenti.

Ulteriori modifiche all'assetto naturale sono poi occorse nel XX secolo con l'attivazione di nuovi porti e delle relative barriere, in grado di alterare e modificare direzione e capacità di trasporto della sabbia lungo costa.

Al fine di effettuare un'analisi delle tendenze evolutive del tratto di costa di interesse è utile un'analisi comparativa delle linee di riva "storiche". Il comune di Forte dei Marmi, si colloca all'interno di una grande unità fisiografica che comprende il litorale compreso tra le città di La Spezia e Livorno ed occupa la sub-unità fisiografica 3 "Fosso Magliano - Porto di Viareggio".

Studi recenti hanno dimostrato che all'interno di tale cella fisiografica è presente una corrente long-shore diretta verso sud a caratterizzare il tratto più settentrionale (come mostra l'accrescimento immediatamente a nord del Porto di Carrara) ed una verso nord che, al contrario caratterizza il tratto di costa tra Viareggio e Livorno.

Ciò determina quindi una generale convergenza di trasporto lungo il litorale, e più precisamente nel tratto tra il fosso Magliano e Viareggio si localizza un punto di inversione delle correnti long-shore. Quanto sopra riportato è confermato dai risultati ottenuti dagli studi redatti dal Prof. Pranzini (2009) e dal Consorzio Pisa Ricerche (2001).

Il flusso dei sedimenti lungo la costa è stato studiato sia su base morfologica e granulometrica (Aiello et al., 1976) che su base petrografica (Gandolfi e Paganelli, 1975) e tutti gli studi concordano sull'esistenza di un drift prevalentemente diretto verso sud da Bocca di Magra a Forte dei Marmi e di uno diretto verso nord da Bocca d'Arno a Marina di Pietrasanta.

Per quanto riguarda le correnti di marea, nella zona vicino alla riva, esse sono caratterizzate da valori molto modesti (dell'ordine del cm/s); pertanto, il loro contributo è trascurabile.

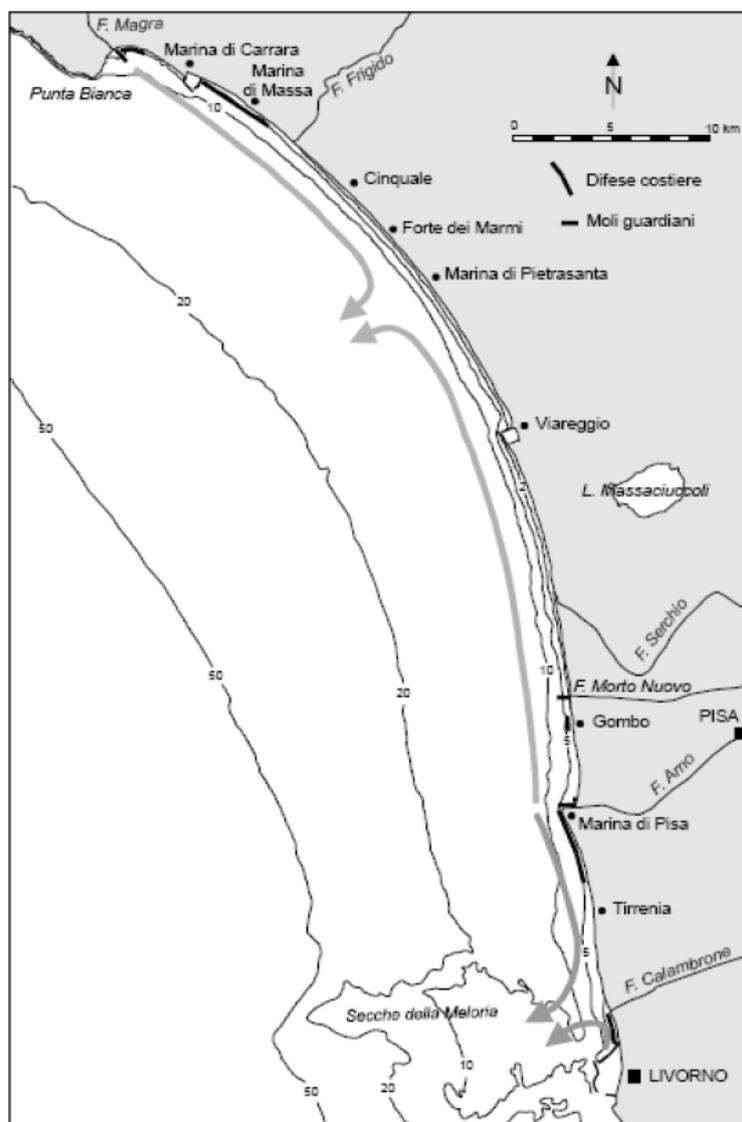
I dati storici evidenziano che il tratto compreso tra il fosso Magliano e il Porto di Viareggio, nel periodo 1878-1938, è stato contraddistinto da un gradiente generalizzato di accrescimento (fino +2,00 m/anno).

La riduzione degli apporti da parte del Fiume Magra, ha tuttavia avuto effetti negativi soprattutto nella zona disposta circa 7 Km a sud est della foce, dove la costa

è regredita di circa 2m/anno (circa 100 m dal 1938 al 1998).

Anche la costruzione del molo settentrionale del Porto di Carrara ha contribuito a sostenere questo trend, tanto anche nella zona di marina di Massa si è riscontrato un arretramento della linea di costa da 30 a 60 mt nel periodo compreso tra il 1985 ed il 1998.

Nonostante ciò lasci supporre una migrazione verso sud del processo erosivo il dato rilevato per la porzione di costa corrispondente al Comune di Pietrasanta, tra il 1938 al 1998 rivela un accrescimento e misure ancora più recenti (Cipriani, Pranzini, 2005) confermano una sostanziale stabilità di questo tratto di litorale.



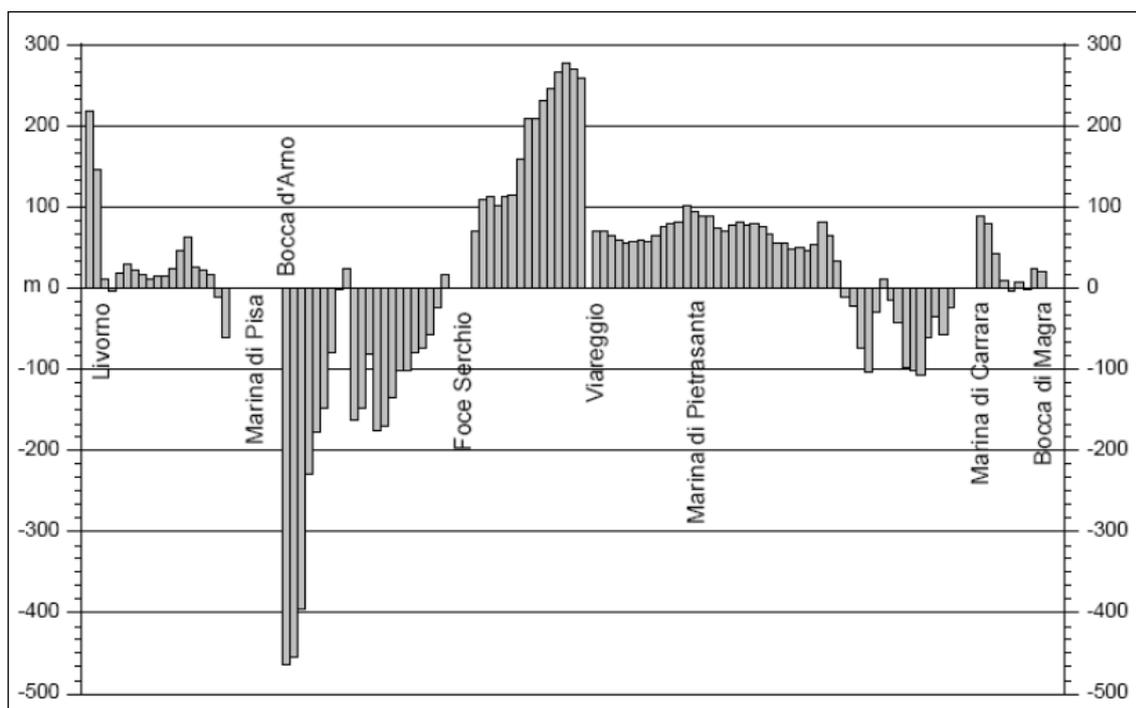
**Figura 3** - Direzione del trasporto litoraneo tra Livorno e Bocca di Magra.

Sempre in riferimento alla morfologia costiera ed alla sua storia evolutiva, si evidenzia un elemento geomorfologico particolarmente significativo per l'area di studio, rappresentato dalla ripa marina che costituisce una paleolinea di massima ingressione olocenica. Tale ripa, descritta per la prima volta dal Sestini nel 1950, è da attribuirsi ad una azione erosiva del mare che nel corso dell'Olocene, in un periodo

coincidente con l'optimum climatico postglaciale, ha determinato lo scalzamento dell'unghia dei conoidi principali discendenti dalle Alpi Apuane.

Questo lineamento morfologico rappresenta pertanto la porzione superiore di una paleofalesia al cui piede dovrebbe essere posta l'effettiva linea di riva della massima ingressione del mare olocenico (datata 5.000 anni a.C.) succeduta ad una fase di massima espansione delle alluvioni ciottolose trasportate dai fiumi.

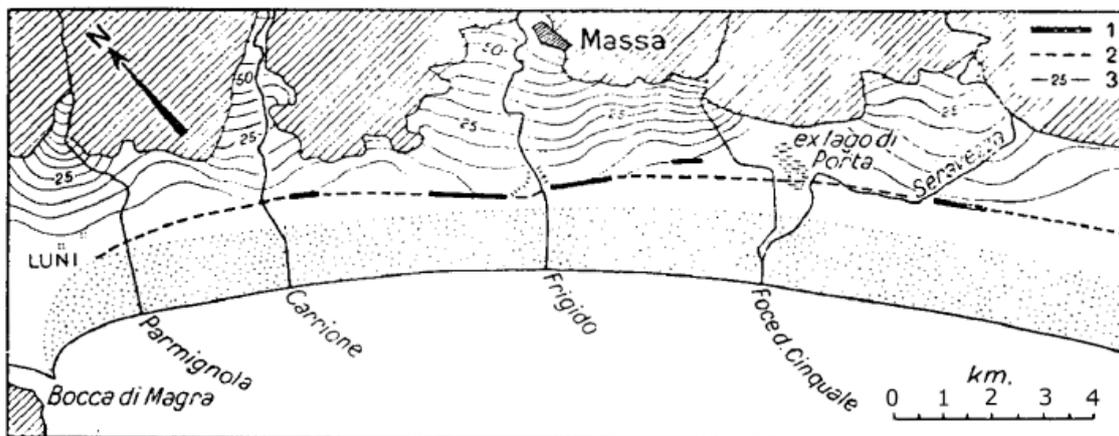
La ripa marina ricade in una porzione di territorio esterna dal territorio comunale di Pietrasanta.



**Figura 4** - Spostamento medio della linea di riva tra Livorno e Bocca di Magra tra il 1938 ed il 1998.

L'attuale arenile avendo una disposizione SE-NW, è esposto direttamente ai venti di Libeccio, attualmente ha una ampiezza mediamente di circa 170 mt calcolato tra la via litoranea (viale a mare) e la linea di riva anno 2008-2010 per la porzione di spiaggia a NO del Pontile e di circa 200 m nella porzione a sud di esso. Tale fascia costiera è occupata per la quasi totalità dalle installazioni legate al turismo balneare.

Il nuovo Piano Paesaggistico della Regione Toscana adottato con Deliberazione Consiglio Regionale 2 luglio 2014, n.58 individua infine una fascia del litorale denominata "Litorale Sabbioso Apuo-Versiliese" per la quale determina criticità e valori e rispetto alla quale introduce obiettivi, direttive e prescrizioni in relazione alla disciplina d'uso. Tale porzione di territorio, si estende dalla linea di riva per circa 300 m verso l'entroterra ed è presente su tutto il territorio comunale. La distanza dell'area di PA dalla linea di riva (nel punto più vicino circa 460 mt) non lo rende interessato da tale fascia in salvaguardia.



**Figura 5** - Pianura costiera apuana (Sestini, 1950) 1. Tratti di ripa visibili. - 2. Probabile posizione della linea di costa durante l'ultima trasgressione. - 3. Curve di livello con equidistanza di 5m (solo sui coni di deiezione). La punteggiatura indica la zona sabbiosa, il tratteggio distingue le formazioni montane delle Apuane.

## 2.5 - Idrogeologia

L'area di studio ricade nella fascia di piana costiera retrodunare; i depositi sabbiosi presenti entro i primi 10÷12 metri dal piano campagna, sono dotati di una permeabilità per porosità medio alta, variabile in genere dai  $10^{-3}$  ai  $10^{-4}$  m/sec.

Quest'orizzonte è sede di un acquifero freatico dolce; l'alimentazione è garantita dall'infiltrazione diretta delle acque meteoriche e dagli apporti dei corsi d'acqua superficiali. La vulnerabilità di tale acquifero, con riferimento alla classificazione semplificata suggerita dal P.T.C. provinciale, è da ritenersi **elevata E-A**.

I depositi invece di natura più limo argillosa, dotati di permeabilità primaria bassa variabile intorno a circa  $10^{-5}$  m/sec presentano i caratteri di un acquicludo o acquitardo, rappresentando anche una protezione agli orizzonti acquiferi sottostanti.

La vulnerabilità di tale acquifero, con riferimento alla classificazione semplificata suggerita dal P.T.C. provinciale, è da ritenersi **media (M) o bassa (B)**.

Per la ricostruzione del quadro freaticometrico si è fatto riferimento alle carte presentate in supporto alla Variante di Manutenzione al P.S., 2011 verificate in base ai dati di livello di piezometri installati nell'ambito di più recenti indagini (campagna ottobre 2004 e campagna giugno 2015); l'ubicazione e i livelli registrati nei piezometri è riportata dalla Carta Idrogeologica di Fig. 4 in TAVOLA 3.

Su detta carta in corrispondenza dei vari punti di controllo, con opportuna simbologia, è stato riportato il livello statico della falda espresso come soggiacenza rispetto al piano campagna.

La geometria della superficie della tavola d'acqua nell'area è caratterizzata da un alto freaticometrico, che si allunga da monte verso la marina. Le direzioni del flusso idraulico sotterraneo sono mediamente dirette verso la costa (direzione Sud

Ovest) con un debole gradiente idraulico, pari a circa 0.08%.

Nell'area dell'Ex Comparto 51 il livello statico della falda ha mostrato, nel corso delle indagini appositamente svolte nel contesto della campagna di indagine 2004, una soggiacenza variabile da 1.3 (DPM1) a 2.2 (DPM3) metri sotto il p.c., con corrispondenti livelli minimi intorno a -0.40 m rispetto al livello medio marino, nella porzione centrale dell'area di intervento (presso DPM3), e livelli massimi di + 0.60 metri sul l.m in corrispondenza della fascia più a mare (DPM1).

I risultati della campagna del Giugno 2015 hanno invece individuato:

- DPSH1: livello statico a 0.8 m dal p.c.;
- DPSH2: livello statico a 1.5 m dal p.c.;
- DPSH3: livello statico a 1.5 m dal p.c.;

Le escursioni stagionali sono mediamente stimabili inferiori al metro.

#### 2.5.1. - Salinizzazione della falda dunale costiera

La fascia dunale costiera come in precedenza detto è sede di un importante acquifero che contribuisce a contenere l'intrusione dell'acqua marina nelle falde e nell'entroterra Versiliense.

In quest'ultimo ventennio, sia per una diminuzione degli apporti meteorici efficaci sia per un aumento sconsiderato dello sfruttamento della risorsa idrica superficiale, tale funzione di barriera è stata significativamente ridotta, con ripercussioni sull'ambiente e sulle attività locali.

L'abbassamento della falda di duna ha portato, in varie zone della costa versiliense ad una forte risalita ed intrusione salina nell'entroterra.

L'interfaccia tra acqua dolce e acqua salata è legata ad un equilibrio di tipo idrodinamico tra flusso dolce e flusso salmastro; esiste una fascia di transizione che può variare di spessore da pochi metri ad alcune decine.

Le condizioni dell'acquifero costiero sono caratterizzate, in estrema sintesi, da una falda d'acqua dolce, dotata di un carico idraulico superiore allo zero, che fluisce verso mare, mentre l'acqua salata, è relegata in profondità con velocità nulla e carico idraulico pari a zero.

In linea teorica, il processo dell'intrusione marina in acquiferi costieri, obbedisce in condizioni statiche alla Legge Ghyben-Herzberg, che pone la profondità dell'interfaccia acqua dolce-acqua salata (z) in funzione del loro rapporto di densità ( $\rho_d/\rho_s-\rho_d$ ) e del carico piezometrico dell'acqua dolce (hd), secondo la formula:

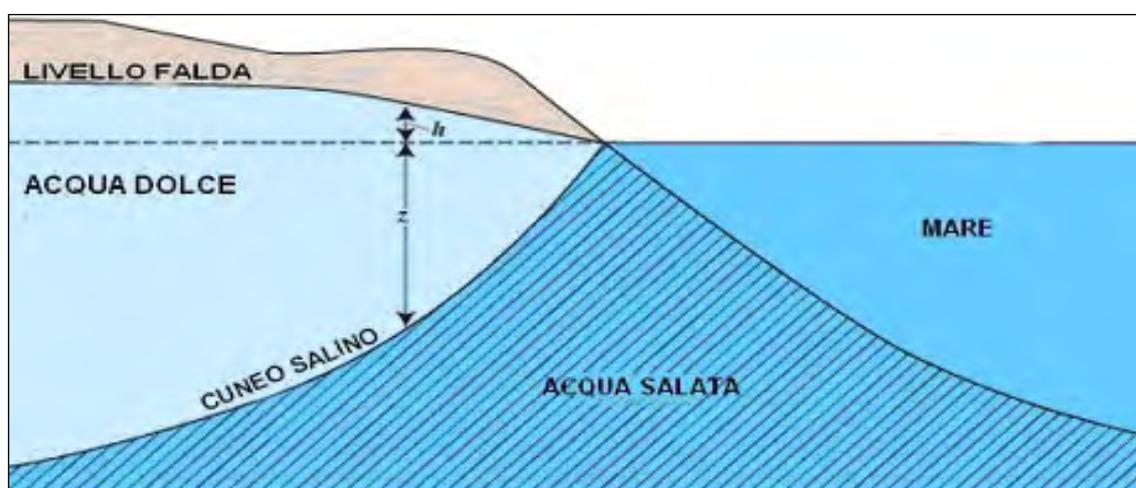
$$Z = [\rho_d / (\rho_s - \rho_d)] * h_d$$

Il rapporto fra hd e z è pari a 1/33÷40: ad un metro di carico idraulico dolce

sul livello mare, corrisponde una profondità teorica dell'interfaccia acqua dolce/salata pari a 33÷40 metri rispetto al livello mare.

In realtà però a causa del processo della diffusione molecolare, legato ai moti browniani, la condizione statica è da considerarsi più complessa. Infatti, le particelle molecolari o ioniche di soluto si muovono per energia cinetica, nella fase fluida, in ragione di gradienti di concentrazione, anche in totale assenza di flusso idraulico.

Per questo l'interfaccia risulta costituita da una zona di miscelazione la cui estensione è molto ristretta, solo per falde confinate con elevato flusso verso mare. Peraltro tale equilibrio è comunque fortemente influenzato dalle maree e localmente condizionato da variazioni del quadro idrodinamico legate a emungimenti. La figura 7 mette in evidenza gli effetti prodotti dagli emungimenti sull'equilibrio costiero.



**Figura 6** - Schema dell'equilibrio costiero tra acqua dolce ed acqua marina (Ghyben-Herzberg)

Dati di misura di conducibilità e di contenuto in cloruri provenienti dai vari accertamenti eseguiti su pozzi della fascia più prossima al mare, in effetti, lasciano intravedere, in qualche caso, un quadro caratterizzato da falde già con un relativo grado di miscelazione a partire dai 6-7 metri di profondità.

Mediamente i pozzi più superficiali fanno registrare valori di conducibilità elettrica e di contenuto in cloruri generalmente inferiori a:

Conducibilità Elettrica: 600-800  $\mu\text{S}/\text{cm}$

Contenuto Cloruri (Cl<sup>-</sup>): 30-60 mg/l

Nella fascia più prossima al mare, rispetto alla zona in oggetto, rilievi eseguiti nel tempo hanno evidenziato gradi di miscelazione acqua salata/acqua dolce più significativi, con acque che mediamente mostrano valori di conducibilità superiori ai 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

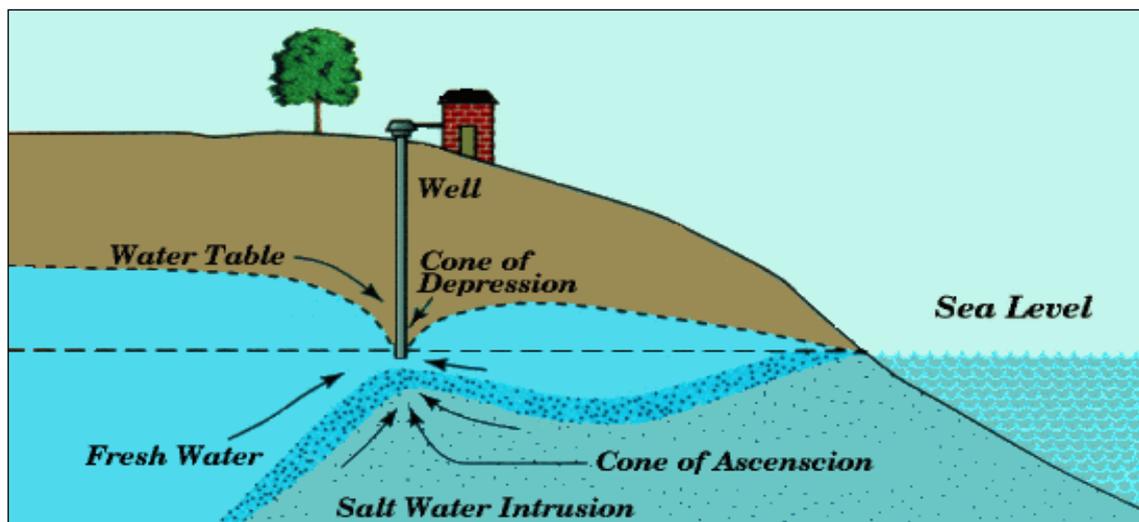


Figura 7 - Schema degli effetti indotti dal pompaggio di acque di falda sull'equilibrio costiero tra acqua dolce ed acqua marina

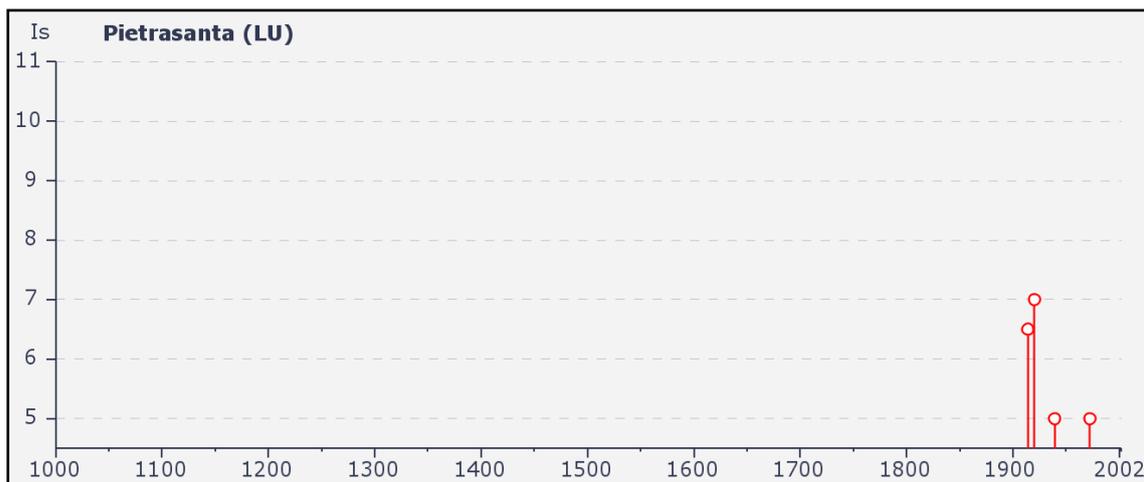
### 3. - SISMICITA' DEL TERRITORIO

#### 3.1 - Sismicità storica

La sismicità storica del Comune di Pietrasanta è stata desunta dal database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI11.

Il relativo database DBMI11 è stato realizzato nell'ambito delle attività del TTC (Tema Trasversale Coordinato) "Banche dati e metodi macrosismici" dell'INGV, con il contributo parziale del Dipartimento della Protezione Civile.

La sismicità del territorio comunale è riassunta graficamente nel diagramma di Figura 8.



**Figura 8** – Diagramma della storia sismica del Comune di Forte dei Marmi.

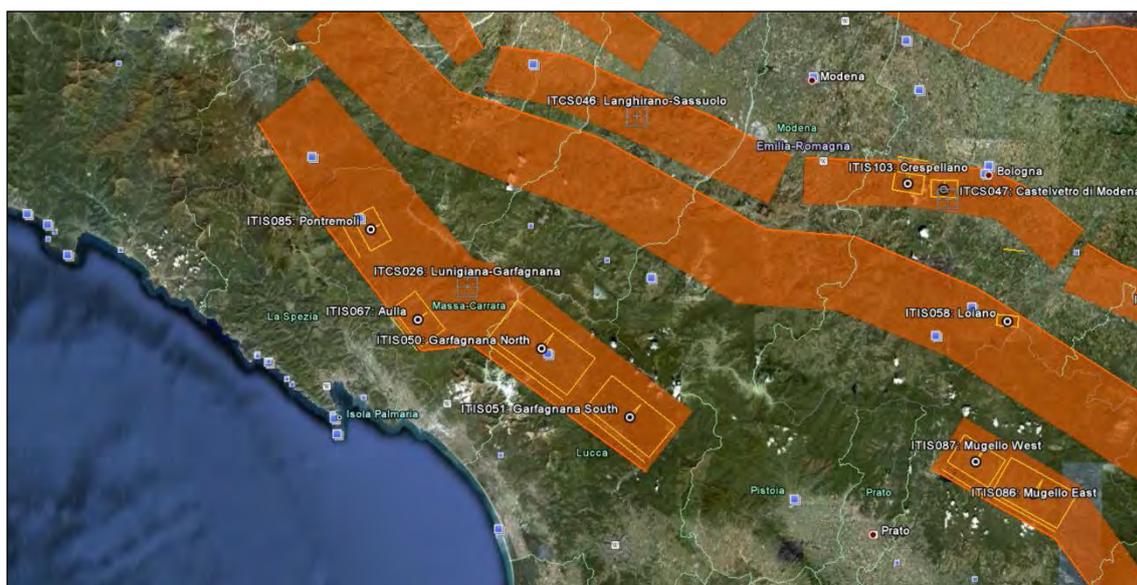
Nella successiva tabella sono elencate le osservazioni, aventi la maggiore intensità al sito, disponibili per il territorio comunale. Nella tabella sono indicate oltre alla stessa intensità al sito (Is), l'anno, il mese (Me), il giorno (Gi) in cui si è verificato, l'intensità massima epicentrale in scala MCS (Io) e la magnitudo momento (Mw).

Come osservabile dalla Fig. 8 e dalla Tabella dei principali eventi sismici risentiti dal territorio comunale si desume che, storicamente il territorio di interesse non è stato interessato da epicentri sismici significativi, ma risente della sismicità di aree circostanti tra cui si segnalano principalmente la Garfagnana/Lunigiana e la Val di Lima con eventi sismici frequenti di magnitudo elevata talora disastrosa (MW 6.4 nel 1920).

Nella successiva tabella sono elencate le osservazioni, aventi la maggiore intensità al sito, disponibili per il territorio comunale. Nella tabella sono indicate oltre alla stessa intensità al sito (Is), l'anno, il mese (Me), il giorno (Gi) in cui si è verificato, l'intensità massima epicentrale in scala MCS (Io) e la magnitudo momento (Mw).

Is	Anno	Me	Gi	AE	Io	Mw
7	1914	10	27	Garfagnana	7	5.79
7	1920	09	07	Garfagnana	9-10	6.48
6-7	1767	01	21	Fivizzano	6-7	5.06
6	1939	10	15	Garfagnana	6-7	5.20
5-6	1740	03	06	Garfagnana	7	5.18
5	1955	12	13	Equi Terme	5	4.60
4	1904	11	17	Pistoiese	7	5.18
4	1929	04	20	Bolognese	7	5.55
4	1937	12	10	Appennino Modenese	6-7	5.42
4	1983	11	09	Parmense	6-7	5.10
4	1985	01	23	Garfagnana	6	4.69
4	1995	10	10	Lunigiana	7	5.04

**Tabella 3** - Principali eventi sismici per l'area di interesse.



**Figura 9** - Sorgenti sismogenetiche su base google earth (INGV - DISS v 3.1.0)

Il quadro sismotettonico locale e le analisi eseguite dall'INGV individuano per il territorio di Pietrasanta un grado medio - basso di rischio sismico, risentendo la zona, in modo più o meno intenso, degli effetti di propagazione e attenuazione di sismi con epicentro nel settore Lunigiana - Garfagnana, nell'Appennino centro-settentrionale e nei sistemi distensivi del Tirreno settentrionale.

Nell'immagine satellitare riportata (Figura 9) sono indicate le sorgenti sismogenetiche riconosciute nell'area di interesse.

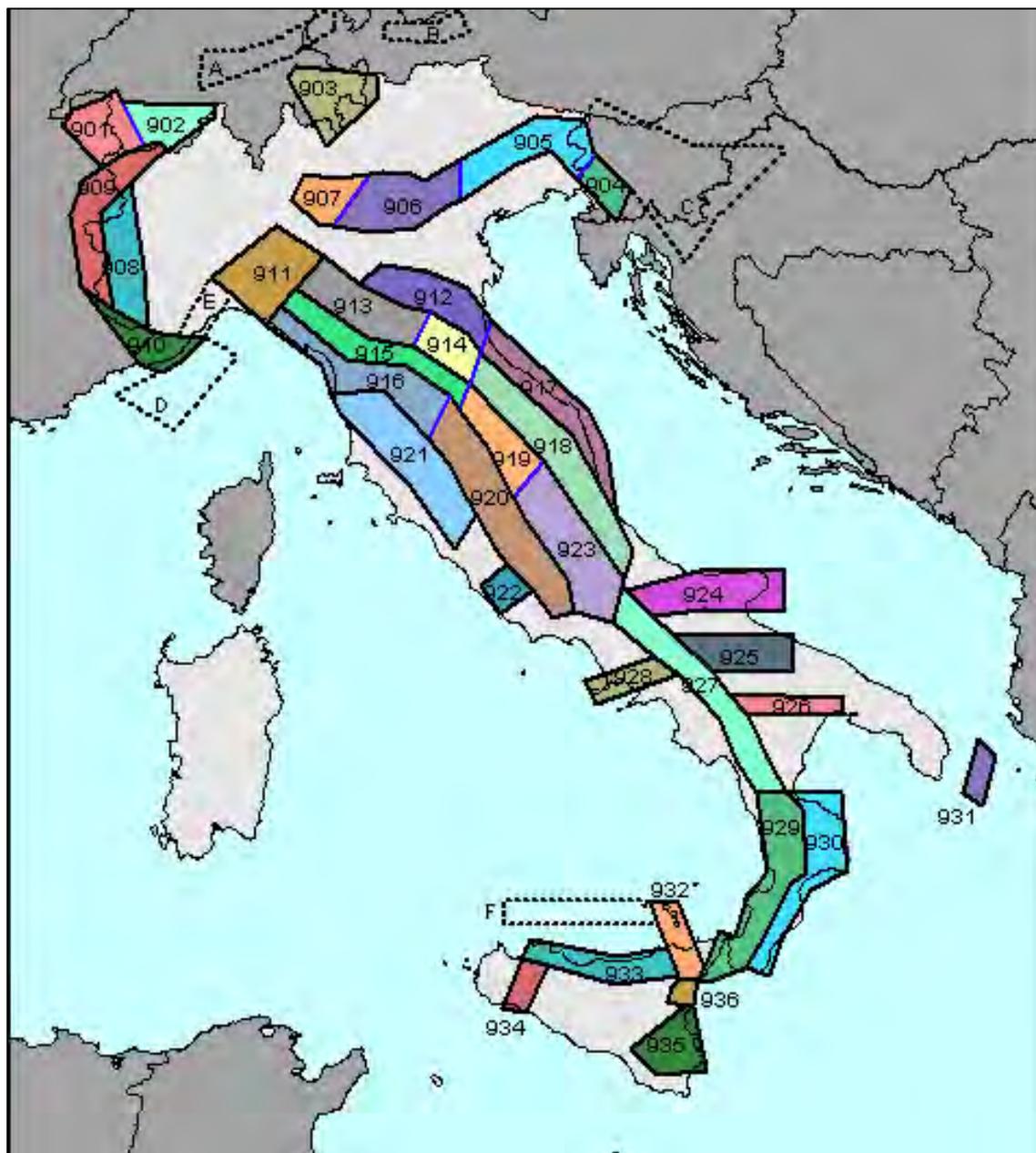


Figura 10 – Zonazione sismogenetica ZS9.

### 3.2 - Zonizzazione sismica nazionale e regionale

Negli ultimi anni il punto di riferimento per le valutazioni di pericolosità sismica è rappresentato dalla zonazione sismogenetica ZS9 (Scandone et al. 1996 - 2000) che rappresenta la traduzione operativa del modello sismotettonico riassunto in Meletti et al. (2000).

In seguito all'emanazione dell'O.P.C.M. 20.3.2003, n. 3274 è stato redatto a cura di un gruppo di lavoro dell'INGV un documento denominato "Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall' O.P.C.M. 20-3-2003, n. 3274. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano - Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici".

Tale modello riprende sostanzialmente il retroterra informativo della precedente zonazione, recependo i più recenti avanzamenti delle conoscenze sulla tettonica attiva della penisola anche considerando le indicazioni derivanti da episodi sismici più recenti (es. Bormio 2000, Monferrato 2001, ecc....).

La zonizzazione è stata condotta tramite l'analisi cinematica degli elementi geologici, cenozoici e quaternari coinvolti nella dinamica delle strutture litosferiche profonde e della crosta superficiale. Il confronto tra le informazioni che hanno condotto alla costruzione del modello geodinamico e la sismicità osservata ha permesso di costruire la carta nazionale delle zone sismogenetiche.

Per il reperimento dei dati relativi alla sismicità osservata è stato considerato il catalogo storico contenente 2.488 eventi degli ultimi 1.000 anni con intensità epicentrali maggiore o uguale al V - VI grado MCS la cui magnitudo è maggiore o uguale a 4.

La zona che interessa l'area in esame (Figura 10) è la 916 (Versilia - Chianti), che fa parte del complesso "Appennino settentrionale e centrale" (zone che vanno dalla 911 alla 923).

Nella zona 916 i dati pubblicati dall'INGV evidenziano che negli anni di monitoraggio strumentale la magnitudo massima registrata è stata di 4.6 Md, la profondità efficace è di 6 km e che la maggior parte dei terremoti che si verificano hanno basse magnitudo, indicando così un frequente movimento che ha funzione dissipativa delle energie tettoniche che possono accumularsi nell'area. Nella successiva tabella sono riportati i dettagli delle misurazioni effettuate.

<i>Zona</i>	<i>Numero eventi Md&gt;2.0</i>	<i>Numero eventi Md&gt;2.5</i>	<i>Numero eventi Md&gt;3.50</i>	<i>Magnitudo massima (Md)</i>	<i>Classe di profondità (km)</i>	<i>Profondità efficace (km)</i>
916	140	83	16	4.6	5-8	6

**Tabella 4** - Dati della zona 916.

I caratteri che contraddistinguono la zona 916 sono inoltre riportati nella tabella successiva, dove si nota che la magnitudo massima prevista Mw è pari a 5.68.

Ogni zonizzazione sismogenetica è caratterizzata da un definito modello cinematico il quale sfrutta una serie di relazioni di attenuazione stimate sulla base di misurazioni accelerometriche effettuate sia sul territorio nazionale che europeo (Figura 11). Sulla base di tali zone, per tutto il territorio italiano, sono state sviluppate le carte della pericolosità sismica (Figura 12).

Il risultato, per ogni comune, è rappresentato da una stima del rischio sismico che tiene conto dell'intera storia sismica riportata nel catalogo sismico nazionale e che viene espresso in termini probabilistici.

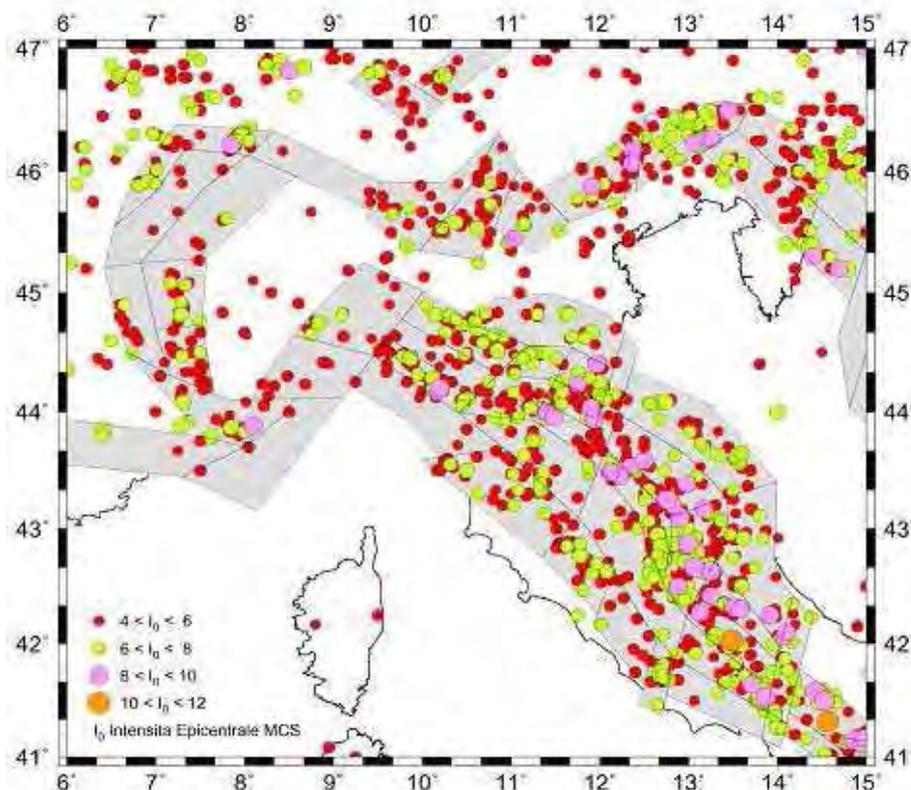


Figura 11 - Zona sismogenetiche e principali epicentri.

ZS Name	ZS9	MwMax AR	Tassi Mwmax Co 04.2 AR	Tassi Mwmax Co-04.4 AR	b Co-04.2	b Co-04.4	MwMax GR	Tassi Mwmax (Co.04.2) GR	Tassi Mwmax (Co.04.4) GR
Savoia	901	5,91	0,21	0,21	-1,18	-1,26	6,14	0,11	0,14
Vallese	902	6,14			-1,26	-1,05	6,14	0,14	0,21
Grigioni - Valtellina	903	5,91	0,21	0,21	-1,26	-1,05	6,14	0,14	0,21
Trieste - Monte Nevoso	904	5,68			-1,12	-1,32	6,14	0,14	0,09
Friuli - Veneto Orientale	905	6,60			-1,06	-1,12	6,60	0,37	0,34
Garda - Veronese	906	6,60		0,14	-1,14	-1,70	6,60	0,11	0,08
Bergamasco	907	5,91	0,14	0,14	-1,71	-1,48	6,14	0,04	0,06
Piemonte	908	5,68			-1,91	-1,67	6,14	0,04	0,06
Alpi Occidentali	909	5,68	0,21	0,33	-1,27	-1,38	6,14	0,10	0,09
Nizza - Sanremo	910	6,37			-1,12	-1,06	6,37	0,14	0,12
Tortona - Bobbio	911	5,68			-1,47	-1,33	6,14	0,05	0,09
Dorsale Ferrarese	912	6,14	0,12	0,12	-1,35	-1,32	6,14	0,12	0,12
Appennino Emiliano-Romagnolo	913	5,91		0,21	-1,80	-1,53	6,14	0,07	0,18
Forlivese	914	5,91			-1,33	-1,23	6,14	0,14	0,21
Garfagnana - Mugello	915	6,60			-1,34	-1,36	6,60	0,11	0,12
Versilia-Chianti	916	5,68	0,21	0,33	-1,96	-1,58	6,14	0,04	0,06
Rimini - Ancona	917	6,14	0,12	0,12	-1,04	-1,01	6,14	0,12	0,12
Medio-Marchigiana/Abruzzese	918	6,37	0,14	0,21	-1,10	-1,11	6,37	0,14	0,21
Appennino Umbro	919	6,37			-1,22	-1,39	6,37	0,26	0,21
Val di Chiana - Ciociaria	920	5,68	0,28	0,33	-1,96	-1,58	6,14	0,06	0,17
Etruria	921	5,91		0,08	-2,00	-2,01	6,14	0,05	0,04
Colli Albani	922	5,45			-2,00	-2,01	5,45	0,37	0,25
Appennino Abruzzese	923	7,06			-1,05	-1,09	7,06	0,14	0,14
Molise-Gargano	924	6,83			-1,04	-1,06	6,83	0,13	0,14
Oranto	925	6,83			-0,67	-0,75	6,83	0,17	0,17
Basento	926	5,91			-1,28	-1,38	6,14	0,10	0,09
Sannio - Irpinia - Basilicata	927	7,06			-0,74	-0,72	7,06	0,43	0,69
Ischia - Vesuvio	928	5,91	0,21	0,21	-1,04	-0,66	5,91	0,21	0,21
Calabria tirrenica	929	7,29			-0,82	-0,79	7,29	0,17	0,17
Calabria ionica	930	6,60			-0,98	-0,89	6,60	0,17	0,21
Canale d'Otranto	931	6,83			-0,63	-0,63	6,83	0,21	0,21
Eolie - Patti	932	6,14			-1,21	-1,08	6,14	0,21	0,33
Sicilia settentrionale	933	6,14	0,21	0,33	-1,39	-1,24	6,14	0,20	0,31
Belice	934	6,14			-0,96	-0,93	6,14	0,20	0,20
Iblei	935	7,29			-0,72	-0,69	7,29	0,12	0,17
Etna	936	5,45	0,33	0,33	-1,63	-1,22	5,45	0,33	0,33

La pericolosità sismica di riferimento ipotizza un substrato omogeneo in roccia ed è espressa in PGA (Peak Ground Acceleration) con associato un periodo di ritorno di 475 anni, valore convenzionale in quanto rappresenta l'accelerazione

associata alla probabilità del 90 % di non superamento considerando un periodo di ritorno di 50 anni.

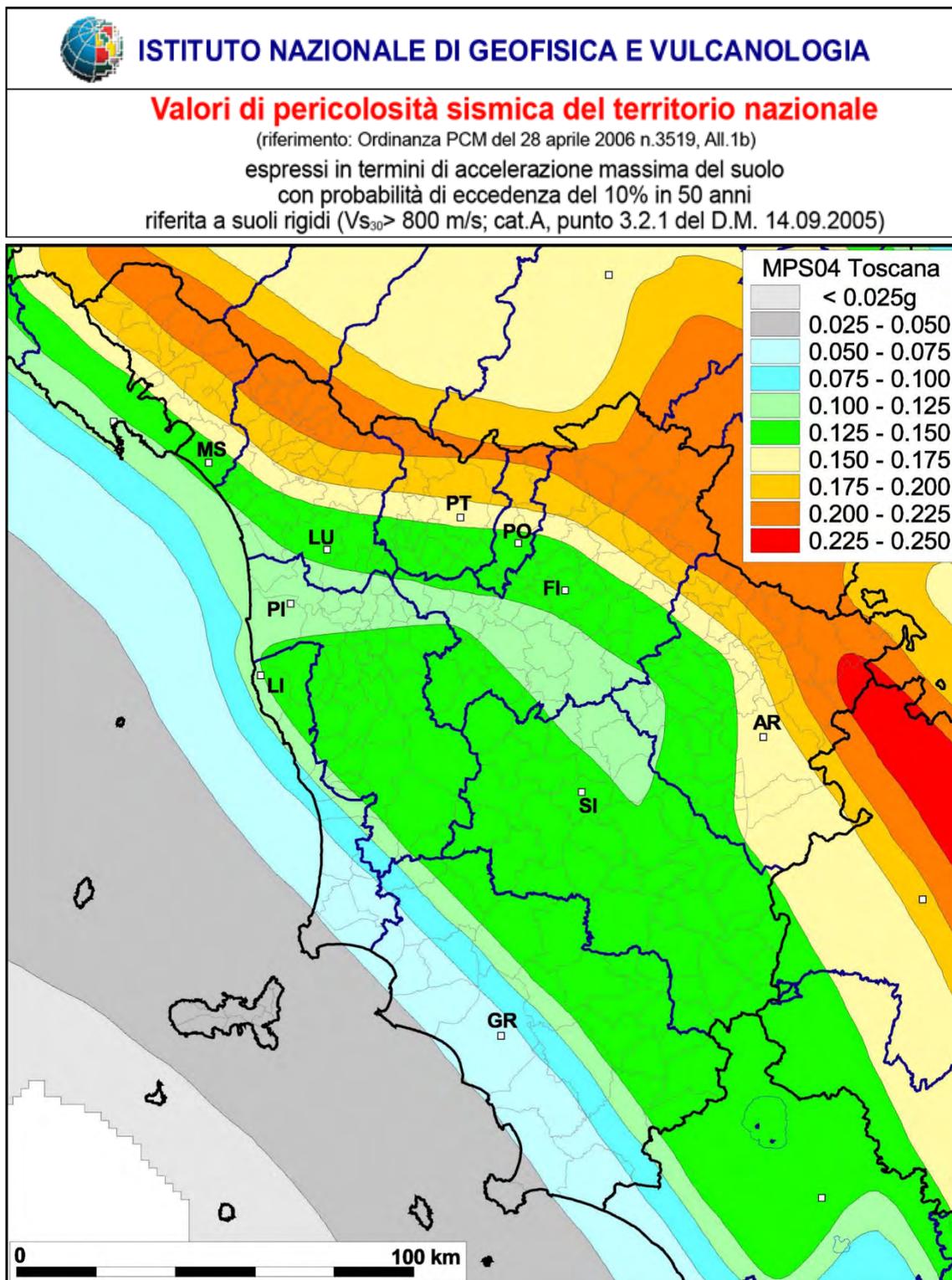


Figura 12 – Carta della Pericolosità sismica della Regione Toscana.

Il territorio nazionale è stato suddiviso in quattro zone sismiche (o categorie) caratterizzate da differenti valori dell'accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A.

ZONA	PGA con probabilità superamento 10% in 50 anni	VALORE MASSIMO PGA
1	> 0.25	0,35
2	0.15 - 0.25	0,25
3	0.05 - 0.15	0,15
4	< 0.05	0,05

**Tabella 5** - Zone Sismiche del territorio italiano.

Il Comune di Pietrasanta ricade in zona sismica 3 alla quale corrisponde un'accelerazione di picco orizzontale, con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, compresa tra 0.100 e 0.150 g, come visibile nella carta probabilistica di pericolosità sismica redatta dall'INGV (2006) (Figura 12), che si traduce in una accelerazione orizzontale massima di ancoraggio dello spettro di risposta elastico pari a 0.15 g.

### 3.3 - Definizione della sismicità di riferimento

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274, il testo unico sulle norme tecniche per le costruzioni in zona sismica e l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3431 prescrivono che deve essere valutata l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, mediante studi specifici di risposta sismica locale.

In mancanza di tali studi si può utilizzare una classificazione che riguardi i terreni compresi tra il piano di imposta delle fondazioni degli edifici ed il sub-strato rigido di riferimento (bedrock o comunque un substrato commisurato alla estensione ed importanza dell'opera).

La classificazione può essere basata sulla stima nei primi trenta metri di suolo dei valori della velocità media delle onde sismiche di taglio  $V_s$  ovvero sul numero medio di colpi  $N_{SPT}$  ottenuti mediante prove penetrometriche dinamiche ovvero sulla coesione non drenata media  $C_u$ .

Nel primo caso  $V_{S30}$  è la velocità media di propagazione delle onde di taglio e viene valutato dalla seguente espressione:

$$V_{S30} = 30/\Sigma(h_i/V_i)$$

con  $h_i$  e  $V_i$  rispettivamente spessore e velocità dello strato  $i$ esimo degli  $N$  strati presenti nei primi 30 metri di sottosuolo.

Per ogni categoria di suolo di fondazione l'Ordinanza indica un fattore  $S$ , variabile tra 1 e 1,35, moltiplicatore dell'accelerazione  $a_g$  relativa alla zona indagata. Per le diverse categorie di sottosuolo, il livello di sismicità di una specifica area viene caratterizzato attraverso il valore dell'accelerazione massima ( $a_g S$ ) e vengono anche definiti i periodi  $T_B - T_C - T_D$  che individuano la forma della componente orizzontale e della componente verticale dell'azione sismica.

Categoria suolo	S	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	T <sub>D</sub>
A	1,0	0,15	0,40	2,0
B, C, E	1,25	0,15	0,50	2,0
D	1,35	0,20	0,80	2,0
Categoria suolo	S	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	T <sub>D</sub>
A, B, C, D, E	1,0	0,05	0,15	1,0

**Tabella 6** – Coefficienti spettrali.

In definitiva, in un determinato sito il moto sismico è definito da uno spettro di risposta elastico la cui espressione dipende, tramite opportuni coefficienti numerici, dalle caratteristiche del terreno (fattore S e periodi T<sub>B</sub> - T<sub>C</sub> - T<sub>D</sub>), del periodo di vibrazione proprio della struttura (T<sub>0</sub>), dall'accelerazione al suolo e dal fattore che tiene conto dello smorzamento viscoso della struttura.

Le Norme Tecniche per le costruzioni del D.M. 14.01.2008 hanno modificato le modalità di valutazione delle azioni di progetto. In particolare nel documento sulla pericolosità sismica (Allegato A), l'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire dalla pericolosità sismica di base, che costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica in un generico sito deve essere descritta in modo da renderla compatibile con le N.T.C. e da dotarla di un sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali.

Le azioni di progetto si ricavano dalle accelerazioni a<sub>g</sub> e dai parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle N.T.C. e dalle relative forme spettrali.

Le forme spettrali previste sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- a<sub>g</sub> accelerazione orizzontale massima del terreno;
- F<sub>0</sub> valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T<sub>C</sub>\* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Questi tre parametri sono definiti in corrispondenza dei punti di un reticolo di riferimento, i cui nodi non distano fra loro più di 10 km, per diverse probabilità di superamento in 50 anni e per diversi periodi di ritorno (variabili tra 30 e 975 anni).

I valori dei principali parametri sismici (a<sub>g</sub>, F<sub>0</sub>, T<sub>C</sub>\*) dovranno essere riferiti in particolare ad ogni singola area di interesse, corrispondente nel caso del PA ai singoli ambiti recanti le varie previsioni.

Nel calcolo dell'azione sismica, ai fini in particolare della progettazione esecutiva, si dovrà fare riferimento a quanto contenuto nel D.M. 14.01.2008, in particolare ai capitoli 2 e 3.

Le ipotesi da assumere nella definizione degli spettri di risposta elastici in accelerazione saranno:

- Vita nominale della struttura;
- Classe d'uso;
- Valori di accelerazione massima orizzontale e dei parametri spettrali per i diversi stati limite, SLE e SLU (valori interpolati ottenuti dalla media pesata con i 4 punti della griglia di accelerazioni che comprendono il sito in esame così come definito nell'Allegato A e B);
- Categoria topografica;
- Categoria di suolo di fondazione.

### 3.3.1. - Categoria di suolo di fondazione

Per il calcolo delle azioni sismiche di progetto e la valutazione dell'amplificazione del moto sismico, la nuova normativa evidenzia come i diversi profili stratigrafici del sottosuolo, in base alle loro caratteristiche di spessore e di rigidità sismica, possono amplificare il moto sismico in superficie rispetto a quello indotto alla loro base: il fattore moltiplicativo delle azioni sismiche orizzontali di progetto dipende cioè dalla natura, dallo spessore e soprattutto dalla velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_{sh}$  all'interno delle coperture.

Come già detto, i valori dei parametri che definiscono la forma dello spettro di risposta al sito dovrebbero derivare da accurate indagini di risposta sismica locale: in mancanza di tali studi tuttavia, le N.T.C. 2008 consentono una valutazione semplificata dell'amplificazione litostratigrafica individuando cinque categorie di sottosuolo: A, B, C, D, E più due (S1, S2) a diversa rigidità sismica cui è associato un coefficiente di amplificazione stratigrafica, che moltiplica l'azione sismica di riferimento.

Le varie categorie di sottosuolo sono caratterizzate da velocità  $V_{s30}$  (definito come il valore medio della velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali o di taglio nei primi 30 metri sotto la base della fondazione) decrescenti e quindi da effetti amplificativi crescenti.

Nel contesto della redazione delle indagini geologiche di supporto presente PA al fine di determinare il parametro  $V_{s30}$ , e quindi le categorie di sottosuolo, sono state eseguite sul territorio apposite indagini con metodo MASW (Multi-channel analysis of surface waves).

La loro ubicazione è riportata in TAVOLA 3. I dati rilevati dalle indagini sono invece riportati a seguire.

- via Bellini/via Piave MASW 1
- via Bellini/via Catalani MASW 2

Le suddette indagini hanno consentito, ai sensi della vigente normativa antisismica nazionale e delle N.T.C. 2008, di determinare il parametro  $V_{s30}$ , che esprime la velocità media delle onde elastiche di taglio nei primi 30 metri di profondità.

In particolare, per  $V_{s30}$ , si intende la media pesata della velocità delle onde S determinata secondo la seguente relazione:

$$V_{s30}=30*[1/\sum(h_i/V_i)]$$

Una volta noto il valore della  $V_{s30}$ , è possibile collocare il sottosuolo interessato dall'intervento all'interno di una delle macro categorie individuate dalla normativa e riportate di seguito.

Suolo di fondazione	$V_{s30}$	Nspt -Cu
<b>A</b> <i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s30}$ superiori a 800 m/eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.	> 800 m/s	
<b>B</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 $V_{s30}$ 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).	> 360 m/s < 800 m/s	Nspt > 50 Cu > 250 kPa
<b>C</b> <i>Depositi 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 $V_{s30}$ 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).	> 180 m/s < 360 m/s	$15 < Nspt < 50$ $70 < Cu < 250$ kPa
<b>D</b> <i>Depositi 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	< 180 m/s	Nspt < 15 Cu < 70 kPa

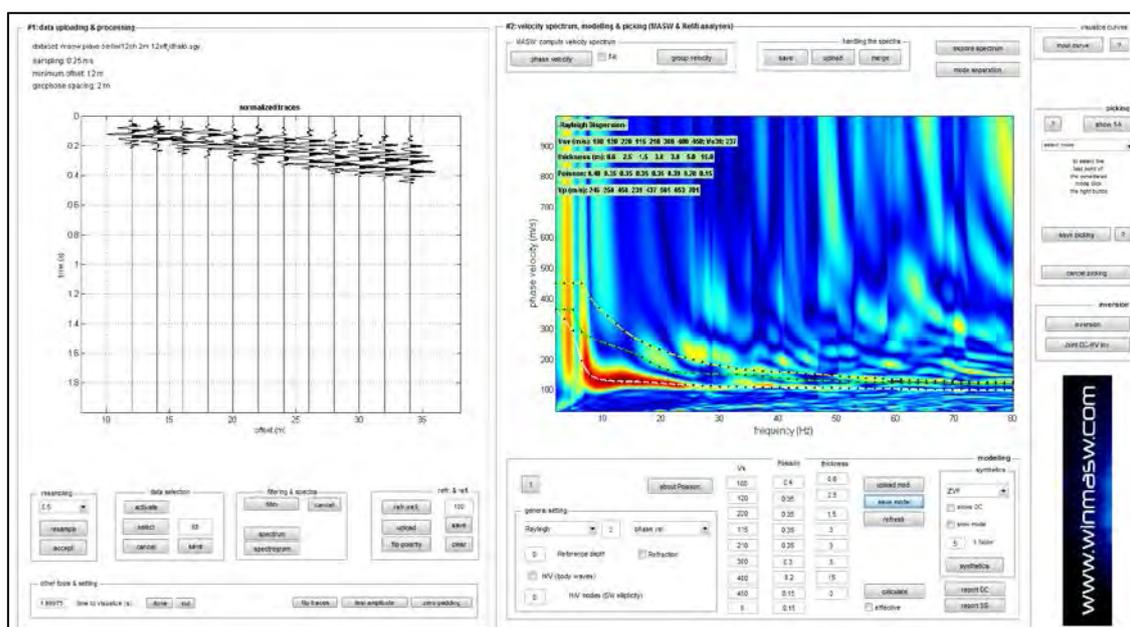
meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).		
<b>E</b> Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).		
<b>S1</b> Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.	< 100 m/s	
<b>S2</b> Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.		

Tabella 7 – Categorie di suolo.

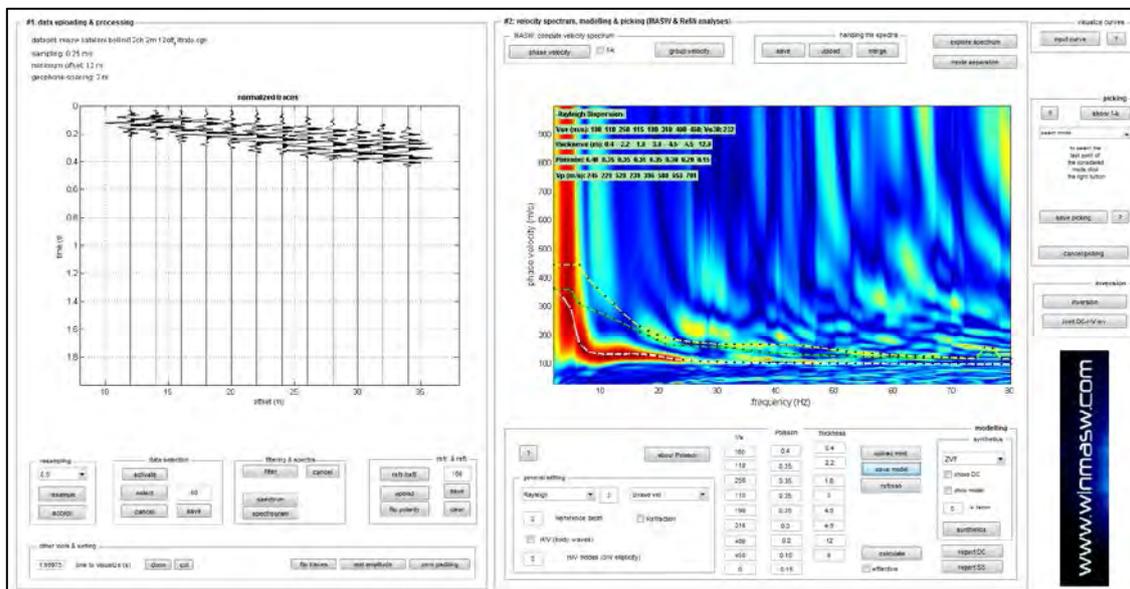
Le tabelle seguenti ed i rispettivi grafici riassumono i risultati ottenuti dalle indagini, in termini di  $V_{s30}$ , per ciascuna prospezione eseguita.

I valori di  $V_{s30}$  riportati sono riferiti ai primi 30 metri di terreno ovvero all'intervallo di profondità 0 m – 30 m.

Nome	$V_{s30}$ m/s	Categoria del suolo di fondazione
MASW 1	237	C



Nome	Vs <sub>30</sub> m/s	Categoria del suolo di fondazione
MASW 2	232	C



3.3.2. - Indagini a stazione singola HVSR

Nella sede del presente incarico si è scelto anche di produrre ulteriori indagini di tipo sismico, finalizzate all'indicazione della frequenza naturale di sito, parametro utile soprattutto a fini della progettazione esecutiva degli interventi.

L'ubicazione delle indagini è riportata in TAVOLA 3, i punti di indagine rappresentano i siti presso i quali è stata eseguita una misura HVSR in stazione singola:

- HVSR via Bellini - via Catalani

La misura del rumore sismico ambientale è stata acquisita con strumentazione tromografica portatile, dotata di tre canali di acquisizione connessi a tre velocimetri elettrodinamici ad alta risoluzione, in grado di misurare le componenti della velocità (moto) di ogni strato lungo le direzioni N-S; E-W; H-V. È stata utilizzata la tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) con tromografo digitale (indagine sismica con metodologia dei microtremori).

L'elaborazione del microtremore registrato fornisce i rapporti spettrali HVSR o H/V (Nogoshi & Igarashi, 1970) e consente di stimare le frequenze fondamentali di risonanza del sottosuolo.

Per gli aspetti teorici essenziali e le principali applicazioni si veda, fra gli altri, Nakamura (1989), SESAME project (2004), Castellaro e Mulargia (2009a, 2009b),

Albarello et alii (2010), Albarello e Castellaro (2011), Mucciarelli e Gallipoli (2011).

Dalle registrazioni del rumore sismico sono state ricavate le curve H/V utilizzando i seguenti parametri:

- Tempo di acquisizione: 20 min;
- Frequenza di campionamento: 125 Hz;
- Larghezza delle finestre d'analisi: 20 s;
- Lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale.

Per ogni misura effettuata vengono presentati in un quadro unitario, insieme ai parametri di acquisizione ed elaborazione dei dati, le curve H/V ottenute, gli spettri delle tre componenti del moto, i grafici della direzionalità e i grafici delle serie temporali, questi ultimi depurati da eventuali transienti. Per tutte le misure l'elaborazione dei dati è stata eseguita lisciando gli spettri con una finestra triangolare al 20% della frequenza centrale.



Una volta verificato che la curva H/V ottenuta non fosse affetta da perdita di informazioni significative per eccessivo smoothing degli spettri, abbiamo cercato di evidenziare la presenza o meno di eventuali picchi di origine antropica (artefatti).

Il territorio esaminato non è comunque caratterizzato da un'importante attività industriale ed artigianale con macchinari in grado di produrre rumore monocromatico (artefatti) a frequenze tali da poter disturbare le curve H/V e, sovrapponendosi al segnale di origine stratigrafica, influenzare sia in frequenza sia in

ampiezza i massimi significativi, rendendone problematica, in taluni casi, l'interpretazione.

Nella fase di interpretazione dei dati è stata quindi posta particolare attenzione al riconoscimento degli artefatti e alla valutazione del loro effetto sulle curve H/V attraverso l'analisi di queste ultime congiuntamente ai relativi spettri delle singole componenti.

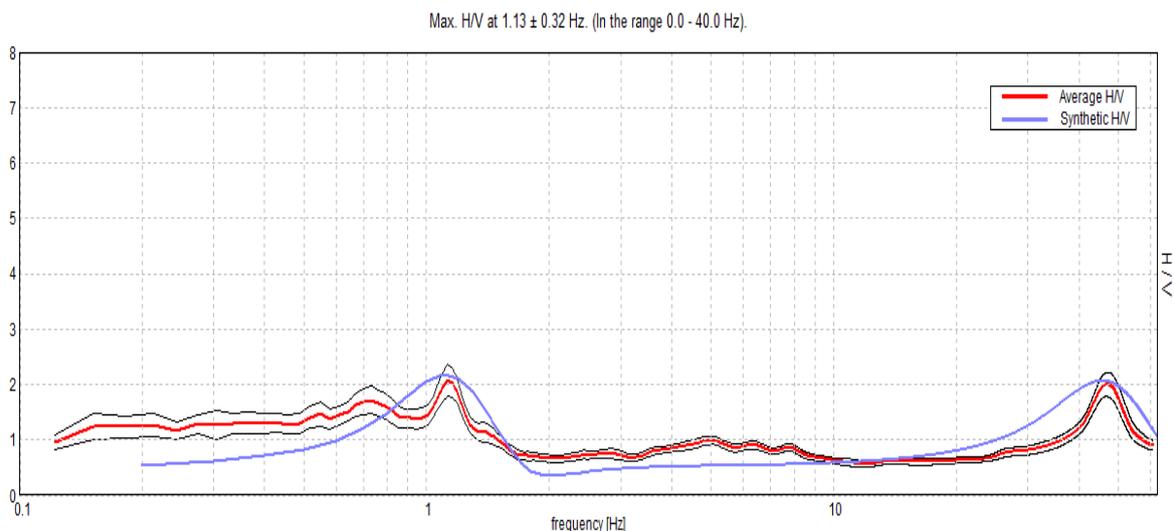
Gli standard di qualità adottati prevedono una classificazione delle curve H/V in 3 classi (A, B e C) di qualità decrescente da A a C. Le classi A e B sono ulteriormente suddivise in due tipologie (tipo 1 e tipo 2). Per il significato di questa classificazione, si veda Albarello et alii (2010) e Albarello e Castellaro (2011).

E' stato principalmente analizzato l'intervallo di frequenze di maggiore interesse ingegneristico, ossia quello compreso tra 1 e 40 Hz. La curva è risultata di classe A1, coerentemente con le misure MASW ed in ragionevole accordo con i dati stratigrafici di sottosuolo disponibili.

I risultati ottenuti sono riassunti nella sottostante Tabella.

Staz.	Ubicazione	Frequenza di picco f0 (Hz)	Picco HVSR	Classificazione Curva	Profondità contrasto 1 (m)	Profondità contrasto 2 (m)
HVSR1	Via Bellini/via Catalani	1.13	2.07	A1	0.6	<b>47.6</b>

**Tabella 8** - Risultati indagine HVSR N.B. In grassetto è riportata la profondità del contrasto riferito al picco massimo F0.



Come emerge dai risultati, il contrasto di impedenza H/V del picco principale risulta modesto (2.07); il picco individuato alla frequenza di circa 47 Hz non appare riconducibile ad un contrasto stratigrafico, ma piuttosto ad effetti legati a rumore antropico (presumibilmente la strada). Il picco individuato a 1.13 Hz invece si ritiene

sia attribuibile ad un contrasto profondo intorno ai 48 mt di profondità.

Tale indicazione deriva da un processo di back analysis che si basa sul principio secondo cui nei sistemi semplici monostrato + bedrock, la frequenza di risonanza del sedimento dipende dallo spessore H del materiale e dalla velocità "media" delle onde S del sedimento stesso secondo la semplice relazione  $f = V_s/4H$  conoscendo lo spessore H del sedimento è possibile avere informazioni sulla velocità media delle  $V_s$ , viceversa, conoscendo la  $V_s$  è possibile definire lo spessore H.

Questa correlazione consente, grazie anche all'utilizzo delle  $V_s$  ricavate dalle indagini MASW eseguite in prossimità della misura passiva di rumore e/o di informazioni litostratigrafiche, di valutare la profondità del livello che genera risonanza e di confrontarlo con ulteriori dati geognostici raccolti, ove presenti.

Le risultanze delle suddette elaborazioni sono mostrate nella figura seguente:

### 3.4 – Possibili effetti di amplificazione dinamica

Il territorio comunale di Pietrasanta risulta prevalentemente caratterizzato da “terreni suscettibili di liquefazione dinamica (riconducibili alla zona 5 del DPDR 26/R) e “zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dare luogo a cedimenti diffusi” (riconducibili alla zona 4 del DPDR 26/R).

Come descritto nel quadro litotecnico, sono presenti infatti, sia aree con affioramento di sabbie eoliche e falda entro i 5 mt dal p.c. potenzialmente in grado di produrre fenomeni di liquefazione, sia fasce di territorio, limitate e localizzate, con depositi limosi in superficie intercalati a sabbie sciolti e compressibili, tali da originare cedimenti diffusi e compattazione.

Concludendo quindi i principali effetti sismici possono essere individuati in:

- liquefazione dei terreni incoerenti fini saturi;
- cedimenti;

Di seguito si espongono alcune valutazioni in merito alle tre situazioni indicate.

#### 3.4.1. – Liquefazione

La risposta sismica è funzione della composizione granulometrica, dell'addensamento dei depositi nonché dalla profondità della falda acquifera. In linea generale, per terremoti di elevata magnitudo, la liquefazione del deposito può essere indotta da un numero, anche ridotto, di cicli di carico poiché ad ogni ciclo è associata una sollecitazione dinamica di grande intensità; per contro, in terremoti di minore magnitudo lo stesso effetto lo si ottiene, chiaramente, solo con un numero superiore di cicli di carico.

In definitiva, quindi, una elevata magnitudo del sisma (maggiore intensità degli sforzi di taglio applicati al terreno) e una lunga durata dello stesso (maggior numero di

cicli di carico) rendono più probabile l'iniziarsi della liquefazione in un deposito sabbioso saturo. In ogni caso, come dimostrano i dati registrati durante terremoti documentati storicamente, la liquefazione è in genere più probabile con sismi di magnitudo superiore a 6 ( $>9^{\circ}\text{MCS}$ ), con durate di scossa superiori ai 15 sec ed accelerazioni  $a_{mx}>0,10g$ .

Tali fattori, considerata la storia sismica del territorio comunale di Pietrasanta, portano a ritenere poco probabili i fenomeni di liquefazione.

Si ricorda che magnitudo dell'entità citata non sono state registrate sul territorio comunale neanche in concomitanza del terremoto che colpì in maniera altamente distruttiva la vicina Garfagnana e Lunigiana nel 1920.

Tenendo conto di quanto sopra e considerando le stime effettuate da vari autori (Youd e Perkins (1978), Iwasaki et Ali. (1982)) riguardanti valutazioni qualitative del grado di vulnerabilità alla liquefazione nel caso di pianure alluvionali costiere Oloceniche, sulla base del tipo di deposito sedimentario e della sua età, si ritiene ragionevole considerare una probabilità di liquefazione da bassa a moderata, tenuto conto anche delle limitate accelerazioni indicate per il territorio del Comune di Pietrasanta.

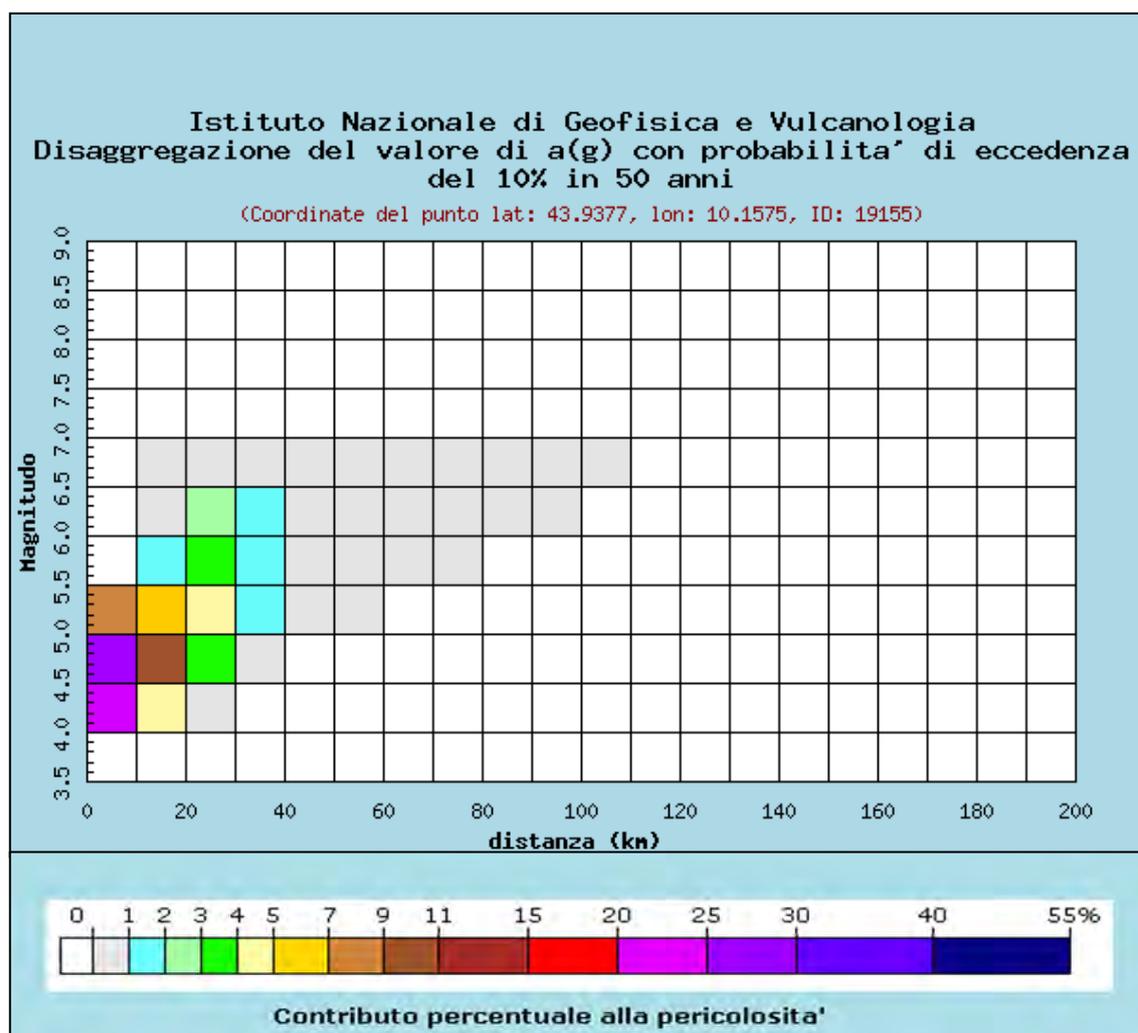
TIPOLOGIA DEL DEPOSITO	ETA' DEL DEPOSITO			
	< 500 anni	Olocene	Pleistocene	Pre-Pleistocene
<b><i>Depositi Continentali</i></b>				
Canali fluviali	Molto Alta	Alta	Bassa	Molto Bassa
Pianure di esondazione	Alta	Moderata	Bassa	Molto Bassa
Pianure e conoidi alluvionali	Moderata	Bassa	Bassa	Molto Bassa
Spianate e terrazzi marini	---	Bassa	Molto Bassa	Molto Bassa
Deltaici	Alta	Moderata	Bassa	Molto Bassa
Lacustri	Alta	Moderata	Bassa	Molto Bassa
Colluvioni	Alta	Moderata	Bassa	Molto Bassa
Scarpate	Bassa	Bassa	Molto Bassa	Molto Bassa
Dune	Alta	Moderata	Bassa	Molto Bassa
Loess	Alta	Alta	Alta	Molto Bassa
Glaciali	Bassa	Bassa	Molto Bassa	Molto Bassa
Tufi	Bassa	Bassa	Molto Bassa	Molto Bassa
Tephra	Alta	Alta	Sconosciuta	Sconosciuta
Terreni residuali	Bassa	Bassa	Molto Bassa	Molto Bassa
Sebkha	Alta	Moderata	Bassa	Molto Bassa
<b><i>Zone Costiere</i></b>				
Deltaici	Molto Alta	Alta	Bassa	Molto Bassa
Di estuario	Alta	Moderata	Bassa	Molto Bassa
Di spiaggia con elevata energia delle onde	Moderata	Bassa	Molto Bassa	Molto Bassa
Di spiaggia con bassa energia delle onde	Alta	Moderata	Bassa	Molto Bassa
Lagunari	Alta	Moderata	Bassa	Molto Bassa
Litorali	Alta	Moderata	Bassa	Molto Bassa
<b><i>Riempimenti Artificiali</i></b>				
Non compattati	Molto Alta	---	---	---
Compattati	Bassa	---	---	---

**Tabella 9** - Vulnerabilità alla liquefazione secondo Youd e Perkins (1978), Iwasaki et Ali. (1982)

Il fenomeno della liquefazione richiede, oltre a depositi incoerenti sciolti, anche la presenza della falda entro i primi 15 metri dal piano campagna, condizione di fatto verificata su tutto il territorio comunale.

Tuttavia, il tipo di deposito presente, caratterizzato in massima parte da sabbie medie e/o fini in genere pulite, ma con frazione fine limosa variabile tra il 15% e il 10% e grado di addensamento mediamente tale da limitare episodi di filtrazione significativa già entro 2÷3 metri dal p.c., rende poco probabile la possibilità di incidenza di questo fenomeno.

Si tenga altresì presente che in relazione alla verifica a liquefazione dei terreni in condizioni sismiche, da produrre in supporto alla progettazione esecutiva, di cui al Cap. 7.11.3.4.2 delle N.T.C. 2008, si ritiene di trovarsi almeno in una delle condizioni per le quali tale verifica non è necessaria: difatti, come stabilito al punto 1) delle suddette norme, nella zona indagata, sono attesi eventi sismici di magnitudo M inferiore a 5.



**Figura 13** - Grafico di disaggregazione Magnitudo-Distanza Epicentrale.

A tale proposito, sul sito dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (<http://esse1.mi.ingv.it/>), si trova una banca dati online della pericolosità sismica in

Italia, con una mappa geografica interattiva, in cui è indicata, per ogni zona, la magnitudo massima attesa per eventi sismici.

Sulla base del grafico di disaggregazione Magnitudo - Distanza Epicentrale, per il punto griglia più vicino all'area in esame è indicata la magnitudo massima attesa, che, ad esempio, per la zona rappresentativa del viale a mare prospiciente il centro di Pietrasanta risulta quella riportata in Fig. 13.

Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 43.9377, lon: 10.1575, ID: 19155)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	22.400	26.900	7.900	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	4.950	9.400	5.340	1.100	0.659	0.087	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.494	3.050	4.120	3.260	2.390	0.354	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.160	1.210	1.640	1.570	0.270	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.169	0.712	0.886	0.174	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.013	0.204	0.288	0.064	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.038	0.105	0.028	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.035	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Da ciò emerge ancora una volta la debole propensione al fenomeno da parte del territorio comunale nel suo complesso, dal momento che il grado di sismicità del Comune di Pietrasanta appare piuttosto contenuto.

Per eventuali valutazioni quantitative, e la determinazione del coefficiente di sicurezza, si rimanda per altro alla fase esecutiva degli interventi in cui saranno note le esatte geometrie fondazionali nonché i loro piani di appoggio.

### 3.4.2. - Cedimenti

La compressibilità dei depositi limosi, prevalentemente presenti nella fascia a cavallo del tracciato autostradale, pressoché impermeabili e/o a bassa permeabilità, fa sì che la dissipazione delle pressioni interstiziali avvenga in tempi sicuramente più lunghi rispetto alla breve durata di un sisma e pertanto, l'evento sismico difficilmente produrrà incrementi significativi in termini di eventuali cedimenti sulle strutture.

Tale conclusione deve essere però estesa anche ai depositi di tipo sabbioso, seppur dotati di maggiore permeabilità rispetto ai precedenti; infatti anche se in essi la

dissipazione delle pressioni interstiziali avviene in tempi più rapidi, tuttavia anche in questo caso essi risulteranno più lunghi rispetto alla durata di un sisma.

In linea generale, quanto meno a livello potenziale, alcune problematiche potrebbero ritenersi quindi possibili nella zona della pianura caratterizzata dalla presenza superficiale dei limi argillosi e delle torbe, dove in effetti la maggiore compressibilità dei depositi potrebbe costituire condizioni locali di amplificazione delle problematiche legate ai cedimenti.

Nei terreni di fondazione coesivi, è stato comunque dimostrato (Carrol, 1963) che l'azione sismica non produce variazioni negative significative nelle caratteristiche meccaniche.

Per eventuali valutazioni quantitative circa i cedimenti a breve e lungo termine delle strutture in progetto, si rimanda alla fase esecutiva degli interventi in cui saranno note le esatte geometrie fondazionali nonché i loro piani di appoggio e potranno essere approfondite le indagini anche mediante prove di laboratorio sui terreni.

## 4. - PERICOLOSITA' DELL'AREA

In riferimento alle normative vigenti, nel caso di redazione di Piani Attuativi, occorre ottemperare a quanto indicato all'art. 3, comma 1, lettera b), comma 2 e comma 3 del D.P.G.R. 53/R del 25.10.2011 in base a cui i comuni devono redigere indagini dirette ad individuare le condizioni che garantiscono la fattibilità degli interventi di trasformazione.

Le indagini geologiche che conducono a tale determinazione devono essere effettuate in conformità a quanto prescritto dalle direttive tecniche contenute nell'allegato A dello stesso regolamento ed il comune, nello specifico caso di "Piano Attuativo" non è tenuto ad effettuare studi di microzonazione sismica.

Le presenti indagini delineano il quadro di pericolosità dell'area oggetto di PA e le relative cartografie tematiche sono riportate in TAVOLA 2.

La pericolosità dell'area indagata viene analizzata in base a quanto risulta dalle seguenti cartografie di riferimento del Comune di Pietrasanta:

- Carta della Pericolosità Geologica - TAV. 06 del R.U. del Comune di Pietrasanta;
- Carta della Pericolosità Litotecnica - TAV. 9G della "Variante di Manutenzione al P.S.";
- Carta della Pericolosità per Subsidenza - TAV.10G della "Variante di Manutenzione al P.S.";
- Carta della Pericolosità Sismica - Tav. 05 del R.U. del Comune di Pietrasanta;
- Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica - Tav. 04 del R.U. del Comune di Pietrasanta;
- Carta della Pericolosità per Problematiche Idrogeologiche - TAV.13G della "Variante di Manutenzione al P.S.";
- Carta della Pericolosità Idraulica- TAV.14G della "Variante di Manutenzione al P.S.".

### 4.1. - Pericolosità Geomorfologica

Le classi di Pericolosità Geomorfologica individuate dal D.P.G.R. 53/R del 2011, vengono di seguito descritte:

**Pericolosità geologica bassa (G.1):** aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfoevolutivi.

**Pericolosità geologica media (G.2):** aree in cui sono presenti fenomeni franosi inattivi e

stabilizzati (naturalmente o artificialmente); aree con elementi geomorfologici, litologici e giacaturali dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto; corpi detritici su versanti con pendenze inferiori al 25%.

**Pericolosità geologica elevata (G.3):** aree in cui sono presenti fenomeni quiescenti; aree con potenziale instabilità connessa alla giacitura, all'acclività, alla litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee, nonché a processi di degrado di carattere antropico; aree interessate da intensi fenomeni erosivi e da subsidenza; aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geotecniche; corpi detritici su versanti con pendenze superiori al 25%.

**Pericolosità geologica molto elevata (G.4):** aree in cui sono presenti fenomeni attivi e relative aree di influenza, aree interessate da soliflussi.

La Carta della Pericolosità Geomorfológica, Tav. 06 degli elaborati del "Variante di Manutenzione al P.S." del Comune di Pietrasanta redatta ai sensi del DPGR 26/R/2007, viene sostituita, come riferimento normativo delle NTA dalla Tav. 6 del R.U. del Comune di Pietrasanta, redatto secondo la DPGR 53/R/2011.

Per tutta l'area in Variante emerge una pericolosità geomorfologica G.1 - bassa (TAVOLA 2 - Fig. 1).

La pericolosità geomorfologica per il territorio comunale di Pietrasanta si riferisce fondamentalmente allo stato fisico - litotecnico del terreno ed in particolare alle sue caratteristiche di resistenza e compressibilità, che condizionano le opere in termini di carichi ammissibili e cedimenti assoluti o differenziali, visto che l'assetto altimetrico è pressoché pianeggiante e che anche le dinamiche di spiaggia (arretramento/avanzamento) evidenziate dalla cartografia geomorfologica non evidenziano criticità e delineano piuttosto un quadro stabile.

Si fa presente che per l'area di piano considerato non sussistono problematiche dovute a dinamiche di colata detritica torrentizia (Tav. 11G degli elaborati della "Variante di Manutenzione al P.S." del Comune di Pietrasanta).

## 4.2. - Pericolosità Litotecnica

Dall'osservazione della Carta della Pericolosità Litotecnica, Tav. 9G degli elaborati della "Variante di Manutenzione al P.S." del Comune di Pietrasanta, per gran parte dell'area di piano emerge una pericolosità litotecnica, 2lt-bassa e per minima parte, circoscritta alle aree di affioramento dei terreni limosi geotecnicamente più scadenti, 3blt-medio alta (TAVOLA 2 - Fig. 2).

Le corrispondenti classi di Pericolosità in base a quanto riportato all'art. 80 delle NTA del PRGC vigente del comune di Pietrasanta (redatto secondo la D.P.R.G. n. 26/R del 27 Aprile 2007) sono rispettivamente la classe G.2 Media, presente nella pressoché totalità dell'area di interesse, e G.3 Elevata, a SO della via Catalani. Tali classi di pericolosità devono ritenersi corrispondenti alle G.2 e G.3 rispettivamente del

DPGR 53/R.

#### 4.3. – Pericolosità per subsidenza

Dall'osservazione della Carta della Pericolosità per subsidenza, Tav. 10G degli elaborati della "Variante di Manutenzione al P.S." del Comune di Pietrasanta, emerge una pericolosità per tale problematica esclusivamente a valle della via Catalani ove affiorano terreni limo-torbosi. La pericolosità indicata è la **3s** (TAVOLA 2 – Fig. 3): aree potenzialmente soggette a fenomeni di subsidenza media.

#### 4.4. – Pericolosità Sismica

In base al quadro conoscitivo delineato nel presente elaborato e tenendo conto del quadro descritto dalle indicazioni degli elaborati in supporto al R.U. comunale sono state evidenziate aree in cui possono presentarsi condizioni di amplificazione della sollecitazione sismica. Le classi di Pericolosità Sismica individuate dal Decreto D.P.G.R. 53R, vengono di seguito descritte:

**Pericolosità sismica locale molto elevata (S.4):** zone suscettibili di instabilità di versante attiva che pertanto potrebbero subire una accentuazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; terreni suscettibili di liquefazione dinamica in comuni classificati in zona sismica 2;

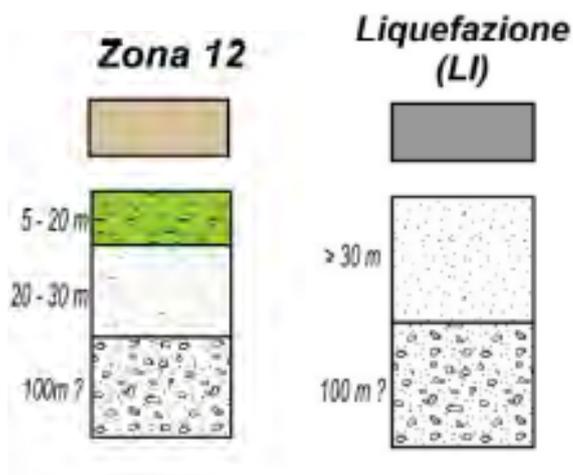
**Pericolosità sismica locale elevata (S.3):** zone suscettibili di instabilità di versante quiescente che pertanto potrebbero subire una riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti diffusi; terreni suscettibili di liquefazione dinamica (per tutti i comuni tranne quelli classificati in zona sismica 2); zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse; aree interessate da deformazioni legate alla presenza di faglie attive e faglie capaci (faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie); zone stabili suscettibili di amplificazioni locali caratterizzati da un alto contrasto di impedenza sismica atteso tra copertura e substrato rigido entro alcune decine di metri;

**Pericolosità sismica locale media (S.2):** zone suscettibili di instabilità di versante inattiva e che pertanto potrebbero subire una riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (che non rientrano tra quelli previsti per la classe di pericolosità sismica S.3);

**Pericolosità sismica locale bassa (S.1):** zone stabili caratterizzate dalla presenza di litotipi assimilabili al substrato rigido in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata e dove non si ritengono probabili fenomeni di amplificazione o instabilità indotta dalla sollecitazione sismica.

La Carta delle ZMPSL e della Pericolosità Sismica, rispettivamente Tav. 7cG

e 12cG degli elaborati della "Variante di Manutenzione al P.S." del Comune di Pietrasanta, redatte secondo la DPGR 26/R/2007, sono integralmente superate dalla Tav. 4 e dalla Tav. 5 del R.U. del Comune di Pietrasanta, rispettivamente Carta MOPS e Carta della Pericolosità Sismica (Fig. 4 e Fig. 5 - TAVOLA 2 del presente elaborato).



**Figura 14** – Colonnine stratigrafiche rappresentative (Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica)

La cartografia MOPS individua due zone a risposta sismica omogenea, ritenute stabili ma suscettibili di amplificazione sismica, in cui il moto sismico viene modificato a causa delle caratteristiche litostratigrafiche e/o geomorfologiche del territorio:

Per tutta l'area di Piano emerge una pericolosità sismica S.3-Elevata come mostrato in TAVOLA 2 – Fig. 5.

#### 4.5. – Pericolosità per problematiche Idrogeologiche

Dall'osservazione della Carta per Problematiche idrogeologiche, Tav. 13G degli elaborati della "Variante di Manutenzione al P.S." del Comune di Pietrasanta, emerge una vulnerabilità idrogeologica da media (M), in corrispondenza dell'affioramento dei terreni limo-torbosi a SO della via Catalani ad elevata (E) sulla restante area di piano in ragione della scarsa protezione dell'acquifero freatico dunale e retrodunale (TAVOLA 2 – Fig. 6).

La cartografia evidenzia anche la presenza di una fascia di territorio caratterizzata da valori delle acque sotterranee superiori a 1000 S/cm e quindi da ritenersi particolarmente fragile sotto l'aspetto dell'ingressione marina nell'acquifero freatico d'acqua dolce, esternamente all'area di piano, verso SO.

#### 4.6. – Pericolosità Idraulica

La pericolosità Idraulica di un territorio è legata in particolare alla incapacità di

contenere le portate di piena da parte di fiumi e/o fossi minori del reticolo idrografico.

Le classi di Pericolosità Idraulica individuate dal D.P.G.R. 53/R del 2011, vengono di seguito descritte:

**Pericolosità idraulica molto elevata (I.4):** aree interessate da allagamenti per eventi con  $Tr \leq 30$  anni. Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici, rientrano in classe di pericolosità molto elevata le aree di fondovalle non protette da opere idrauliche per le quali ricorrano contestualmente le seguenti condizioni:

- a) vi sono notizie storiche di inondazioni;
- b) sono morfologicamente in situazione sfavorevole di norma a quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a metri 2 sopra il piede esterno dell'argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda.

**Pericolosità idraulica elevata (I.3):** aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra  $30 < TR \leq 200$  anni. Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici, rientrano in classe di pericolosità elevata le aree di fondovalle per le quali ricorra almeno una delle seguenti condizioni:

- a) vi sono notizie storiche di inondazioni;
- b) sono morfologicamente in condizione sfavorevole di norma a quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a metri 2 sopra il piede esterno dell'argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda.

**Pericolosità idraulica media (I.2):** aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra  $200 < TR \leq 500$  anni. Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici rientrano in classe di pericolosità media le aree di fondovalle per le quali ricorrano le seguenti condizioni:

- a) non vi sono notizie storiche di inondazioni;
- b) sono in situazione di alto morfologico rispetto alla piana alluvionale adiacente, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda.

**Pericolosità idraulica bassa (I.1):** aree collinari o montane prossime ai corsi d'acqua per le quali ricorrono le seguenti condizioni:

- a) non vi sono notizie storiche di inondazioni;
- b) sono in situazioni favorevoli di alto morfologico, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in

mancanza, al ciglio di sponda.

Dall'osservazione della Carta della Pericolosità Idraulica, Tav. 14G degli elaborati della "Variante di Manutenzione al P.S." del Comune di Pietrasanta, emerge una pericolosità idraulica 2i bassa (TAVOLA 2 - Fig. 7) da ritenersi corrispondente alla classe I.2 Media del DPGR 53/R.

#### 4.7. - Prospetto riassuntivo delle pericolosità dell'area di interesse

Tenendo conto di quanto determinato ai paragrafi precedenti, si riassumono di seguito le pericolosità presenti presso l'area di Piano (Tab. 10) e, per una più facile ed immediata applicazione, in relazione ai vari sotto comparti (Tab. 11):

Pericolosità Geologica	G.1 - Bassa
Pericolosità Litotecnica	G.2 - Media (parte) G.3 - Elevata (parte)
Pericolosità per Subsidenza	Assente (parte) 3S (Parte)
Pericolosità per colata detritico-torrentizia	Assente
Pericolosità per Problematiche Idrogeologiche	M - Media E - Elevata
Pericolosità Sismica	S.3 - Elevata
Pericolosità Idraulica	I.2 - Media

**Tabella 10** - Condizioni di pericolosità all'interno dell'area di Piano.

COMPARTO	PERICOLOSITA'					
	GEOLOGICA	LITOTECNICA	SUBSIDENZA	SISMICA	IDRAULICA	PROBLEMATICHE IDROGEOLOGICHE
<b>A</b>	G1	G2	---	S3	I2	E
<b>B1</b>	G1	G3	3S	S3	I2	M
<b>B2-3</b>	G1	G2	---	S3	I2	E
<b>P1</b>	G1	G2	---	S3	I2	E
<b>P2</b>	G1	G2	---	S3	I2	E
<b>P3</b>	G1	G2	---	S3	I2	E

**Tabella 11** - Condizioni di pericolosità per ogni sub-comparto.

## 5. - FATTIBILITA'

La fattibilità degli interventi (opportunamente riportata in TAVOLA 3) è stata definita tenendo conto delle previsioni urbanistiche proposte, secondo un approccio matriciale, e tenendo conto delle indicazioni fornite dalle Norme del R.U. approvato in data 14.07.2014 dal c.c. di Pietrasanta.

In base alle disposizioni di cui all'art. 3 delle NTA del R.U. comunale, la redazione di Piani Attuativi deve essere corredata da valutazioni circa le classi di pericolosità, e conseguente fattibilità, conformi al DPGR 53/R del 2011, alle norme di PAI del Bacino Toscana Nord ed al PTC della Provincia di Lucca.

La definizione di ogni classe discende dalle disposizioni del D.P.G.R. 53/R che prevedono le seguenti categorie:

**Fattibilità senza particolari limitazioni (F1):** si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali non sono necessarie prescrizioni specifiche ai fini della valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia.

**Fattibilità con normali vincoli (F2):** 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.

**Fattibilità condizionata (F3):** si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali, ai fini della individuazione delle condizioni di compatibilità degli interventi con le situazioni di pericolosità riscontrate, è necessario definire la tipologia degli approfondimenti di indagine da svolgersi in sede di predisposizione dei piani complessi di intervento o dei piani attuativi o, in loro assenza, in sede di predisposizione dei progetti edilizi.

**Fattibilità limitata (F4):** si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali la cui attuazione è subordinata alla realizzazione di interventi di messa in sicurezza che vanno individuati e definiti in sede di redazione del medesimo regolamento urbanistico, sulla base di studi, dati da attività di monitoraggio e verifiche atte a determinare gli elementi di base utili per la predisposizione della relativa progettazione.

### 5.1 - Determinazione della fattibilità

Le previsioni di PA distinte all'interno dei vari sotto comparti sono di seguito illustrate in Tab. 12, 13, 14, 15, 16, 17:



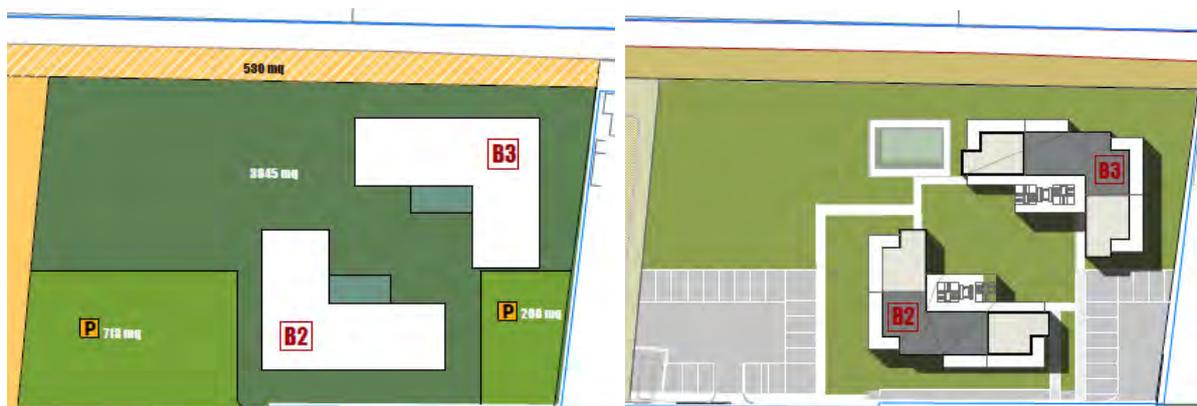
COMPARTO A	FATTIBILITA'				
	GEOLOGICA	LITOTECNICA	SUBSIDENZA	SISMICA	IDRAULICA
EIFICATO	FG2	FG3	---	FS3	FI2
PARCHEGGI-VIABILITA'	FG1	FG2	---	FS3	FI2
PISCINE	FG1	FG2	---	FS3	FI2
SCAVI-RIPORTI	FG2	FG3	---	FS3	FI2

Tabella 12 - Fattibilità sub-comparto A.



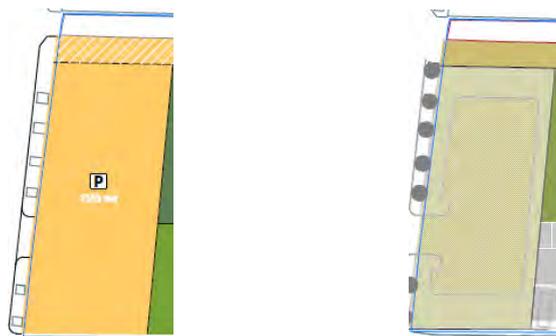
COMPARTO B1	FATTIBILITA'				
	GEOLOGICA	LITOTECNICA	SUBSIDENZA	SISMICA	IDRAULICA
EIFICATO	FG2	FG3	3S	FS3	FI2
PARCHEGGI-VIABILITA'	FG1	FG3	3S	FS3	FI2
SCAVI-RIPORTI	FG2	FG3	3S	FS3	FI2

Tabella 13 - Fattibilità sub-comparto B1.



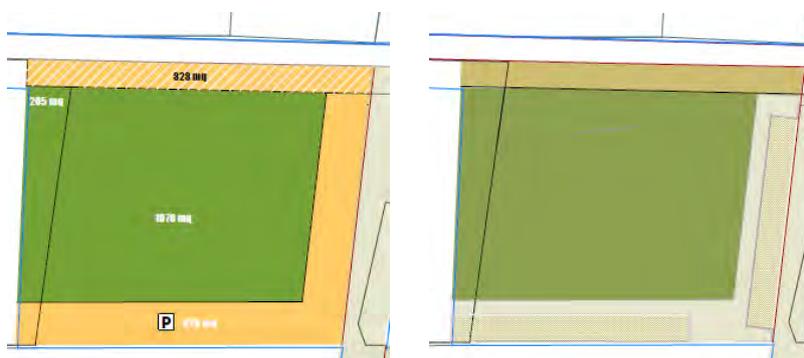
COMPARTO B2-B3	FATTIBILITA'				
	GEOLOGICA	LITOTECNICA	SUBSIDENZA	SISMICA	IDRAULICA
EIFICATO	FG2	FG3	---	FS3	FI2
PARCHEGGI-VIABILITA'	FG1	FG2	---	FS3	FI2
PISCINE	FG1	FG2	---	FS3	FI2
SCAVI-RIPORTI	FG2	FG3	---	FS3	FI2

Tabella 14 - Fattibilità sub-comparto B2-B3.



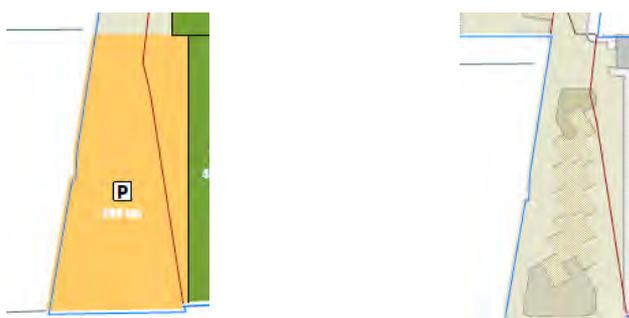
COMPARTO P1	FATTIBILITA'				
	GEOLOGICA	LITOTECNICA	SUBSIDENZA	SISMICA	IDRAULICA
PARCHEGGI-VIABILITA'	FG1	FG2	---	FS3	F12

Tabella 15 - Fattibilità sub-comparto P1.



COMPARTO P2	FATTIBILITA'				
	GEOLOGICA	LITOTECNICA	SUBSIDENZA	SISMICA	IDRAULICA
PARCHEGGI-VIABILITA'	FG1	FG2	---	FS3	F12

Tabella 16 - Fattibilità sub-comparto p2.



COMPARTO P3	FATTIBILITA'				
	GEOLOGICA	LITOTECNICA	SUBSIDENZA	SISMICA	IDRAULICA
PARCHEGGI-VIABILITA'	FG1	FG2	---	FS3	F12

Tabella 17 - Fattibilità sub-comparto p3.

## 5.2 - Prescrizioni e limitazioni relative alle varie classi di fattibilità

Le condizioni di attuazione delle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali possono essere differenziate secondo le categorie di fattibilità riportate al paragrafo 5.2.1 (corrispondenti alle disposizioni di cui al D.P.G.R. n.53/R del 2011, Allegato A, §

3.1). Vengono sotto riportate solo le condizioni relative a pericolosità e fattibilità di fatto presenti all'interno dell'area di PA.

#### 5.2.1. - Criteri di Fattibilità in relazione agli aspetti Geologici

Nelle situazioni caratterizzate da pericolosità geologica elevata (G.3) è necessario rispettare i seguenti criteri generali:

- a) la realizzazione di interventi di nuova edificazione o nuove infrastrutture è subordinata all'esito di idonei studi geologici, idrogeologici e geotecnici finalizzati alla verifica delle effettive condizioni di stabilità ed alla preventiva o contestuale realizzazione degli eventuali interventi di messa in sicurezza;
- b) gli eventuali interventi di messa in sicurezza, definiti sulla base di studi geologici, idrogeologici e geotecnici, devono comunque essere tali da:
  - non pregiudicare le condizioni di stabilità nelle aree adiacenti;
  - non limitare la possibilità di realizzare interventi definitivi di stabilizzazione e prevenzione dei fenomeni; -consentire la manutenzione delle opere di messa in sicurezza;
- c) in presenza di interventi di messa in sicurezza sono predisposti ed attivati gli opportuni sistemi di monitoraggio in relazione alla tipologia del dissesto;
- d) l'avvenuta messa in sicurezza conseguente la realizzazione ed il collaudo delle opere di consolidamento, gli esiti positivi del sistema di monitoraggio attivato e la delimitazione delle aree risultanti in sicurezza, sono certificati;
- e) 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.

La relazione geologica e geotecnica dovrà essere corredata da indagini geognostiche di dettaglio eseguite in sito atte a valutare la stratigrafia delle aree oggetto di intervento, dovrà definire dettagliatamente i parametri geotecnici dei diversi litotipi, le caratteristiche della falda e la sua oscillazione, riportare il dimensionamento delle opere di fondazione e la valutazione dei cedimenti a breve e lungo periodo oltre ad una verifica del rischio di liquefazione. Le indagini di approfondimento devono essere estese all'ambito geologico - geomorfologico significativo.

Nelle situazioni caratterizzate da pericolosità geologica media (G.2) le condizioni di attuazione sono indicate in funzione delle specifiche indagini da eseguirsi a livello edificatorio al fine di non modificare negativamente le condizioni ed i processi geomorfologici presenti nell'area.

Nelle situazioni caratterizzate da pericolosità geologica bassa (G.1) possono non essere dettate condizioni di fattibilità dovute a limitazioni di carattere geomorfologico.

#### 5.2.1.1 - Prescrizioni delle NTA del R.U. comunale in relazione alla fattibilità geologica

Nelle situazioni caratterizzate da Fattibilità FG1 le N.T.A del R.U. comunale

art. 4 stabiliscono, oltre a quanto già indicato al §5.2.1. che per l'attuazione delle previsioni di piano:

- a) L'approfondimento di indagine geologico - geotecnica si richiede soltanto a supporto dell'intervento che prevede variazioni dei carichi sul terreno e/o modificazioni morfologiche del suolo, la relazione geologica può essere redatta sia a seguito di studi generali che di notizie reperite sull'area oggetto di intervento.
- b) La relazione geotecnica dovrà verificare che l'intervento non costituisca una problematica dal punto di vista della stabilità di eventuali edifici e/o strutture limitrofe.

Nelle situazioni caratterizzate da Fattibilità FG2 le N.T.A del R.U. comunale art. 4 stabiliscono, oltre a quanto già indicato al §5.2.1. che per l'attuazione delle previsioni di piano:

- a) L'approfondimento di indagine geologico - geotecnica sia richiesto soltanto a supporto dell'intervento che prevede variazioni dei carichi sul terreno e/o modificazioni morfologiche del suolo, indagini di approfondimento estese all'ambito geologico geomorfologico significativo. La relazione geologica dovrà indicare le opere di regimazione delle acque superficiali e (se previste) delle acque di filtrazione nel terreno, le acque raccolte non dovranno creare o essere causa di dissesti nei dintorni dell'area di intervento.
- b) L'intervento previsto non deve modificare negativamente le condizioni ed i processi geomorfologici presenti nell'area.
- c) La relazione geotecnica dovrà verificare che l'intervento non costituisca una problematica dal punto di vista geotecnico per eventuali edifici e/o strutture limitrofe.
- d) La relazione geologica e geotecnica dovranno essere corredate da indagini geognostiche di dettaglio realizzate all'interno del sito oggetto di intervento, finalizzate alla caratterizzazione stratigrafica e geotecnica del terreno di fondazione, dovranno definire dettagliatamente i parametri geotecnici, le caratteristiche della falda e la sua oscillazione stagionale, riportare il dimensionamento delle opere di fondazione e la valutazione dei cedimenti e del rischio di liquefazione.

Tutti i progetti esecutivi dovranno attenersi, in materia geologica - geotecnica, alle N.T.C. 2008 e al Decreto del Presidente della Giunta Regionale 9 luglio 2009, n. 36/R - Regolamento di attuazione dell'articolo 117, commi 1 e 2 della legge regionale 3 gennaio 2005 n. 1 (Norme per il governo del territorio) -Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico.

5.2.1.2 - Prescrizioni delle NTA del R.U. comunale in relazione alla fattibilità litotecnica

Nelle situazioni caratterizzate da Fattibilità FG2 le N.T.A del R.U. comunale art. 4 stabiliscono, oltre a quanto già indicato al §5.2.1. che per l'attuazione delle

previsioni di piano:

- a) L'approfondimento di indagine geologico-geotecnica sia richiesto soltanto a supporto dell'intervento che prevede variazioni dei carichi sul terreno e/o modificazioni morfologiche del suolo, indagini di approfondimento estese all'ambito geologico geomorfologico significativo. La relazione geologica dovrà indicare le opere di regimazione delle acque superficiali e (se previste) delle acque di filtrazione nel terreno, le acque raccolte non dovranno creare o essere causa di dissesti nei dintorni dell'area di intervento.
- b) L'intervento previsto non deve modificare negativamente le condizioni ed i processi geomorfologici presenti nell'area.
- c) La relazione geotecnica dovrà verificare che l'intervento non costituisca una problematica dal punto di vista geotecnico per eventuali edifici e/o strutture limitrofe.
- d) La relazione geologica e geotecnica dovranno essere corredate da indagini geognostiche di dettaglio realizzate all'interno del sito oggetto di intervento, finalizzate alla caratterizzazione stratigrafica e geotecnica del terreno di fondazione, dovranno definire dettagliatamente i parametri geotecnici, le caratteristiche della falda e la sua oscillazione stagionale, riportare il dimensionamento delle opere di fondazione e la valutazione dei cedimenti e del rischio di liquefazione.

Nelle situazioni caratterizzate da Fattibilità FG3 le N.T.A del R.U. comunale art. 4 stabiliscono, oltre a quanto già indicato al §5.2.1. che per l'attuazione delle previsioni di piano:

- a) L'attuazione di interventi di nuova edificazione o nuove infrastrutture sia subordinata all'esito di idonei studi geologici, idrogeologici e geotecnici finalizzati alla verifica delle effettive condizioni di stabilità ed alla preventiva realizzazione degli eventuali interventi di messa in sicurezza. Gli studi devono essere estesi non al solo lotto di pertinenza dell'intervento ma anche all'ambito geologico/geomorfologico significativo, valutando anche possibili aree di influenza di eventuali criticità che possono interessare il sito oggetto di intervento.
- b) Gli eventuali interventi di messa in sicurezza, definiti sulla base di studi geologici, idrogeologici e geotecnici, devono essere comunque tali da non pregiudicare le condizioni di stabilità nelle aree adiacenti, da non limitare la possibilità di realizzare interventi definitivi di stabilizzazione e prevenzione dei fenomeni, da consentire la manutenzione delle opere di messa in sicurezza.
- c) In presenza di interventi di messa in sicurezza dovranno essere predisposti ed attivati gli opportuni sistemi di monitoraggio in relazione alla tipologia del dissesto.
- d) L'avvenuta messa in sicurezza conseguente la realizzazione ed il collaudo delle opere di consolidamento, gli esiti positivi del sistema di monitoraggio attivato e la delimitazione delle aree risultanti in sicurezza, devono essere certificati.
- e) Possono essere attuati quegli interventi per i quali venga dimostrato che non determinano condizioni di instabilità e che non modificano negativamente i

- processi geomorfologici presenti nell'area; deve inoltre essere dimostrato che le opere di progetto non determinano carichi tali da comportare problemi di stabilità alla struttura e/o opera oggetto di intervento e alle opere e strutture limitrofe; della sussistenza delle condizioni sopra riportate deve essere dato atto nel procedimento amministrativo relativo al titolo abilitativo all'attività edilizia.
- f) La relazione geologica dovrà indicare le opere di regimazione delle acque superficiali e (se previste) delle acque di filtrazione del terreno, le acque raccolte non dovranno creare o essere causa di dissesti nei dintorni dell'area di intervento. È vietato spostare le acque ruscellanti afferenti ad un impluvio in altri impluvi limitrofi, se non dimostrata la reale necessità e il non aggravio delle pericolosità negli impluvi ricettori.
- g) La relazione geologica e geotecnica dovrà essere corredata da indagini geognostiche di dettaglio eseguite in sito atte a valutare la stratigrafia delle aree oggetto di intervento, dovrà definire dettagliatamente i parametri geotecnici dei diversi litotipi, le caratteristiche della falda e la sua oscillazione, riportare il dimensionamento delle opere di fondazione e la valutazione dei cedimenti a breve e lungo periodo oltre ad una verifica del rischio di liquefazione. Le indagini di approfondimento devono essere estese all'ambito geologico-geomorfologico significativo.
- h) Gli eventuali progetti preliminari degli interventi di messa in sicurezza devono essere sottoposti al parere dell'ente Regionale competente come definito dalla L.R. 77/2013.
- i) Devono essere rispettate le disposizioni di cui all'art. 14 delle norme del PAI del Bacino Toscana Nord.

*In aggiunta a quanto sopra, si fa presente che la fragilità dell'area di piano, in territorio pianeggiante, privo di dissesti in atto o quiescenti, è caratterizzata da pericolosità litotecnica per la gran parte G2 e localmente G.3. In quest'ultimo caso essa è per lo più legata, alla scarsa qualità geotecnica dei terreni presenti nella porzione a SO di Via Catalani.*

*Di quanto prescritto dal R.U. risulta per tanto particolarmente rilevante il punto g) i cui contenuti sono tesi a far valutare in sede di progettazione la compatibilità tra entità e geometria dei carichi applicati e terreni di fondazione. Tali approfondimenti di indagine consentiranno quindi un adeguato dimensionamento delle strutture, sia fondazionali sia in elevazione, in modo da poter escludere o limitare ad aliquote ammissibili fenomeni di cedimento assoluto o differenziale.*

#### 5.2.2. - Criteri di Fattibilità in relazione agli aspetti Idraulici

Nelle situazioni caratterizzate da pericolosità idraulica media (1.2) 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 aggravamenti di pericolosità in altre aree.

#### 5.2.2.1 - Prescrizioni delle NTA del R.U. comunale in relazione alla fattibilità idraulica

Nelle situazioni caratterizzate da Fattibilità FI2 le N.T.A del R.U. comunale art. 7 stabiliscono, oltre a quanto già indicato al §5.2.2. che per l'attuazione delle previsioni di piano:

- a) È richiesta una indagine di approfondimento, anche soltanto qualitativa, in termini di raccolta di dati e notizie. Le indagini si devono concretizzare in valutazioni sul rischio effettivo e sulle conseguenti opere e/o accorgimenti progettuali da adottare per la mitigazione del rischio stesso. Gli interventi di mitigazione, valutati in relazione ad eventi alluvionali aventi tempi di ritorno maggiori o uguali a 200 anni a seconda della natura del bene da difendere, devono essere progettati in termini tali da escludere problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture, interruzioni di funzionalità delle attività socio-economiche, danneggiamenti del patrimonio ambientale. Gli interventi incidenti sulla pericolosità devono essere compatibili con la situazione idraulica al contorno.
- b) Per le aree in basso morfologico devono essere verificati i problemi di ristagno e adottate misure di mitigazione.

#### 5.2.3 - Criteri di Fattibilità per le situazioni connesse subsidenza

Nel caso di situazioni caratterizzate da Pericolosità per Subsidenza 3S, è necessario rispettare le seguenti indicazioni (art. 5 delle NTA del R.U. comunale):

- a) la relazione geologica deve indicare il grado di rischio e proporre misure di attenuazione del rischio quali accorgimenti costruttivi e fondazioni speciali.
- b) le opere di emungimento sia temporanee che permanenti dovranno valutare la compatibilità del prelievo basate sulla verifica degli effetti a lungo termine tenuto conto delle condizioni locali stratigrafiche e di soggiacenza piezometrica.

In riferimento alle aree potenzialmente subsidenti incluse all'interno dell'area di PA si ritiene in questa sede di non dover effettuare valutazioni più approfondite dal momento che le previsioni offrono uno schema di massima degli interventi.

Le verifiche dell'effettiva incidenza del fenomeno della subsidenza in funzione delle soluzioni edificatorie proposte è, per tanto, demandato alla fase della progettazione esecutiva.

#### 5.2.4. - Criteri di Fattibilità in relazione agli aspetti Sismici

Nelle situazioni caratterizzate da pericolosità sismica locale elevata (S3), in sede di predisposizione dei progetti edilizi, devono essere valutati i seguenti aspetti:

- a) nel caso di terreni di fondazione particolarmente scadenti, devono essere

realizzate adeguate indagini geognostiche e geotecniche finalizzate alle verifiche dei cedimenti;

- b) per i terreni soggetti a liquefazione dinamica devono essere realizzate adeguate indagini geognostiche e geotecniche finalizzate al calcolo del coefficiente di sicurezza relativo alla liquefazione dei terreni.

#### 5.2.4.1 - Prescrizioni delle NTA del R.U. comunale in relazione alla fattibilità sismica

Nelle situazioni caratterizzate da Fattibilità FS3 le N.T.A del R.U. comunale art. 6 riprendono quanto indicato al §5.2.4.

In riferimento al area di interesse, si fa presente che la fragilità è legata alla presenza di terreni geotecnicamente scadenti e potenzialmente soggetti a liquefazione dinamica.

In questa sede, a livello di P.A. è stata effettuata una prima campagna di indagini geofisica e geotecnica per definire spessori, geometrie e velocità sismiche ed è stata offerta una valutazione generale, in base alle informazioni disponibili sull'area di Piano, rispetto alla effettiva propensione del sito alla liquefazione o al cedimento, non potendo avere a disposizione il dettaglio della geometria fondazionale di ogni singolo manufatto o fabbricato contemplato dalle previsioni urbanistiche.

Si prescrive, tuttavia, di effettuare verifiche specifiche in relazione ad ogni richiesta di titolo edilizio. In tale sede, infatti, dovranno essere effettuate ulteriori indagini geognostiche finalizzate al calcolo dei cedimenti e per i terreni soggetti a liquefazione dinamica si dovrà effettuare il calcolo del coefficiente di sicurezza relativo.

## 6. - VALUTAZIONI AMBIENTALI E RELATIVE PRESCRIZIONI

### 6.1 - Salvaguardia e tutela delle risorse idriche superficiali

A far data dall'approvazione della Del.C.R. 58/2014 di adozione del PIT Regionale con valenza di Piano Paesaggistico e fino all'individuazione dei contesti fluviali di cui all'articolo 18, comma 3, lettera a) della Disciplina di Piano i comuni, nella fascia di 150 metri da fiumi e torrenti di cui all'Allegato L "Elenco di Fiumi e Torrenti riconosciuti tramite CTR", individuata con le modalità di cui all'elaborato di piano 7B "Ricognizione, delimitazione e rappresentazione in scala idonea alla identificazione delle aree tutelate per legge ai sensi dell'art. 142 del Codice":

- a) tutelano i caratteri morfologici e figurativi dei fiumi e torrenti e gli aspetti storico-culturali del paesaggio fluviale;
- b) evitano i processi di artificializzazione degli alvei e delle aree di pertinenza fluviale e ulteriori processi di urbanizzazione garantendo che gli interventi di trasformazione non compromettano i rapporti figurativi identitari dei paesaggi fluviali, le visuali connotate da un elevato valore estetico percettivo e la qualità degli ecosistemi.

Nella zona di interesse non risultano presenti tratti dei Fiumi e Torrenti di cui all'Allegato L e quelli delle acque pubbliche indicati nell'Allegato E, individuati mediante la ricognizione su decreti (DCR n. 95/1986) e/o gazzette ufficiali.

Sempre in merito ai corsi d'acqua si fa presente che la norma di riferimento è la L.R. 21/2012, così come modificata ed integrata dalle successive L.R. n. 79 del 27/12/2012 e L.R. 60 del 28/15/2013.

Il reticolo idrografico cui vengono applicate le limitazioni e salvaguardie dell'art. 1 della L.R. 21/2012, è definito dalla Regione Toscana con DCRT 57/2013 e modificato con la DCRT n. 9/2015. L'area interessata dal presente PA non risulta interessata dalla presenza di elementi di tale reticolo.

### 6.2 - Impermeabilizzazione dei suoli

Ogni trasformazione comportante nuova edificazione, deve contenere gli effetti di impermeabilizzazione dei suoli. In particolare ogni trasformazione di nuova edificazione deve garantire il mantenimento di una superficie permeabile, cioè tale da consentire l'assorbimento anche parziale delle acque meteoriche, pari ad almeno il 25% della superficie fondiaria di pertinenza del nuovo edificio.

In occasione di ogni trasformazione che comporti la realizzazione o l'adeguamento di piazzali, parcheggi, elementi di viabilità pedonale o meccanizzata, devono essere adottate modalità costruttive che consentano l'infiltrazione e/o la ritenzione, anche temporanea delle acque meteoriche.

Ogni nuova edificazione deve garantire il mantenimento di una superficie scoperta permeabile, cioè tale da consentire l'assorbimento anche parziale delle acque meteoriche nella superficie fondiaria di pertinenza del nuovo edificio.

Devono essere adottate modalità costruttive che consentano l'infiltrazione e/o la ritenzione, anche temporanea, delle acque meteoriche.

Le modalità, le stime circa i volumi coinvolti, nonché le modalità con cui verrà gestita l'impermeabilizzazione dei suoli sarà meglio definita alla fase di progettazione esecutiva degli interventi, una volta note con precisioni le superfici caratterizzate da variazione della permeabilità rispetto allo stato attuale. E' quindi a tale fase che si rimanda per i calcoli definitivi.

In questa sede, tuttavia, si ritiene utile offrire una sorta di pre-dimensionamento finalizzato ad alla individuazione di eventuali spazi da destinare alla gestione delle acque, nell'ottica del principio di invarianza idraulica.

Per "trasformazione del territorio ad invarianza idraulica" si intende la trasformazione di un'area tale che non provochi un aggravio della portata di piana del corpo idrico ricevente i deflussi superficiali originati dall'area stessa.

In altre parole intervenire su suolo naturale implica dover necessariamente ovviare, mediante opere di mitigazione, alla sua impermeabilizzazione in modo da mantenere inalterate le prestazioni ideologico-idrauliche del bacino di riferimento su cui si interviene, questo anche quando il corpo recettore potrebbe essere rappresentato dalla pubblica fognatura.

I meccanismi di controllo naturale delle piene sono:

- infiltrazione e immagazzinamento delle piogge nel suolo (fenomeni dipendenti dal coefficiente di deflusso dei terreni);
- laminazione dei deflussi (i deflussi devono infatti colmare i volumi disponibili sul terreno del bacino di riferimento prima di poter raggiungere la sezione di chiusura).

Per tanto, il principio di invarianza idraulica, deve essere garantito intervenendo con opere di mitigazione o comunque soluzioni costruttive che si muovano nell'una o nell'altra direzione, o verso entrambe.

La modalità che consente di ottenere quanto suddetto è predisporre, all'interno delle aree in trasformazione e soggette ad impermeabilizzazione, volumi ad hoc che dovranno essere riempiti prima che si verifichi un deflusso verso l'esterno delle aree stesse, in modo da determinare condizioni di invarianza del picco di piena

del corpo recettore.

Si fa presente che l'impermeabilizzazione di un lotto diventa significativa quando supera 1 ha secondo la seguente classificazione:

- Trascurabile impermeabilizzazione potenziale per  $S < 0,1$  ha
- Modesta impermeabilizzazione potenziale per  $0,1 < S < 1$  ha
- Significativa impermeabilizzazione potenziale per  $1 < S < 10$  ha e  $S > 10$  ha e  $IMP < 30\%$
- Marcata impermeabilizzazione potenziale per  $S > 10$  ha e  $IMP > 30\%$

Nel caso esaminato, sui vari sotto comparti (visibili in TAVOLA 3), la superficie interessata da peggioramento della propria permeabilità (ossia aree attualmente a verde che diventeranno impermeabili o semipermeabili) è la seguente:

- A 7772 m<sup>2</sup>;
- B1 1543 m<sup>2</sup>;
- B2-B3 3217 m<sup>2</sup>;
- P1 1236 m<sup>2</sup>;
- P2 875 m<sup>2</sup>;
- P3 752 m<sup>2</sup>;
- V Bellini 1727 m<sup>2</sup>;
- V. Toti 521 m<sup>2</sup>.

TOT 12210 m<sup>2</sup>.

### 6.2.1 - Determinazione del volume minimo di invaso

#### 6.2.1.1 - Parametri Idrologici e coefficienti di deflusso delle superfici scolanti

La ricerca dei principali parametri idrologici è stata fatta prendendo in esame le precipitazioni estreme registrate nella stazione meteorologica di Viareggio (Lucca), della quale sono reperibili dati di precipitazione estrema superiore ad 1 ora dal 1932 ed 1994 (Tabella 18). I dati di precipitazioni estreme per durate inferiori all'ora sono invece in numero limitato e non uniformemente distribuiti nel tempo.

La "linea segnalatrice di probabilità pluviometrica (LSPP)" è stata determinata sia con il metodo di Gumbel che attraverso il metodo TCEV (messo a punto dal PIN - Centro Studi di Ingegneria dell'Università di Firenze), adottando successivamente per i calcoli il valore più cautelativo. La distribuzione di probabilità di Gumbel consente di correlare le altezze di pioggia (h) con i relativi tempi di ritorno (Tr) attraverso la seguente relazione:

$$h = u - \frac{1}{\alpha} \ln \left( \ln \left( \frac{T_r}{T_r - 1} \right) \right)$$

$$u = \mu - 0.45\sigma$$

$$\alpha = \frac{1.283}{\sigma}$$

con  $\mu$  e  $\sigma$ , rispettivamente media e scarto quadratico medio dei dati pluviometrici per i diversi tempi di pioggia.

anno\durata	1h	3h	6h	12h	24h
1932		34			
1933		44			
1945	24	45.2	53	56.8	70
1946	25.6	51.6	59	82.8	88.2
1948	42	51.6	52.4	55.2	59.4
1949	28.4	34.4	36.2	50	64.6
1950	29.2	29.2	39	54.4	62
1951	30	54	69.4	79.2	85.4
1952	28	45.4	71.4	104	154.8
1953	41.6	51.6	57.4	65	89.8
1954	58	78	83.2	85.8	85.8
1955	35	53	107	183	211
1956	33	41.2	44.8	52.4	62.4
1957	27	62.6	63	66.8	66.8
1958	25	31	31	37.4	45.4
1959	26	39.6	47.2	47.2	71.6
1960	28	35.8	35.8	45	55.2
1961	43	46	51.4	55	104
1962	17	26	38	47.6	51.6
1963	60	109	109.2	109.2	112
1964	25	37.8	37.8	44.6	53.8
1965	43	62.6	65	97.4	101.2
1966	48	108	115.6	155.2	157
1967	24	30	34.6	36.2	43.8
1968	46.6	53.4	60.4	68.8	71
1969	35.2	52.2	64.6	88.2	95.4
1970	39	53.4	54.6	54.6	54.8
1971	46.2	46.2	48.8	68.4	68.4
1972	22.2	37.2	39.6	44.2	50.6
1973	39	47.6	50.6	52.4	64.2
1974	28	32.6	32.6	36.2	37
1975	38.2	38.8	39	52.8	53.4
1976	50.8	74	74.2	75.2	85.6
1977	24.2	35.4	38.4	65	67.6
1978	32.4	37.8	61.8	76.2	99.2
1979	28.6	35.8	57.4	97.8	139.8
1980	25.6	38	42	42	77
1981	50.2	80	80.4	80.4	83.6
1982	24.2	31.8	32.4	44	53.4
1983	21.4	26.4	27.2	46	53.2
1984	20	30.2	43	43	47
1985	14.8	23.4	24.6	30.6	48.4
1986	17.8	37.8	37.8	38.2	50.6
1987	71	116.6	123.2	126	137.6
1988	52.6	68.2	84.1	85.2	85.4
1989	32	50.5	55.4	55.4	67.4
1990	19.8	35.6	65	76.6	80.4
1991	60.6	100.8	130.4	140.8	141
1992	57.2	64.9	66.8	71.5	82.6
1993	37	37.6	49.8	62.4	80.6
1994	36.4	58.8	88.8	119.4	127

**Tabella 18** – Precipitazioni estreme in mm, registrate dalla stazione di Viareggio (Lu) per durate di pioggia superiore ad un ora

Nel caso in esame, considerando la carenza delle registrazioni per precipitazioni inferiori ad 1 ora, la determinazione della LSPP è stata condotta prendendo in esame i soli dati relativi a durate di pioggia maggiori di 1 ora. Interpolando i valori ottenuti applicando la distribuzione di Gumbel, si ottiene l'equazione della linea segnalatrice di probabilità pluviometrica.

$$h = a \cdot t^v$$

in cui:

h = altezza di pioggia [mm]

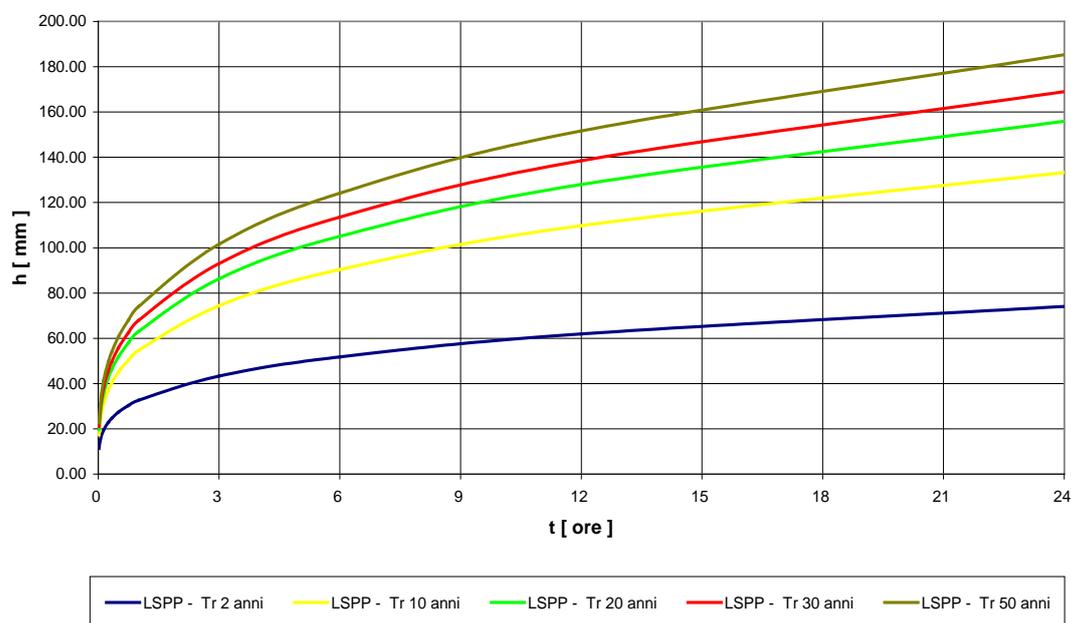
t = tempo di pioggia [ore]

a e v = parametri della linea segnalatrice.

Nella Tabella 19 si riportano i parametri caratteristici della LSPP, mentre nella Figura 15 se ne riporta l'andamento per tempo di ritorno (Tr) variabile da 2 a 50 anni, in funzione della durata della pioggia.

Tabella Riassuntiva		
Tr	a	n
2	32.651	0.258
10	54.668	0.280
20	63.082	0.285
30	67.923	0.287
50	73.974	0.289

**Tabella 19** - Parametri caratteristici della LSPP col metodo di Gumbel, per Tr 2 ÷ 50 anni.



**Figura 15** - LSPP col metodo di Gumbel per Tr 2 ÷ 50 anni.

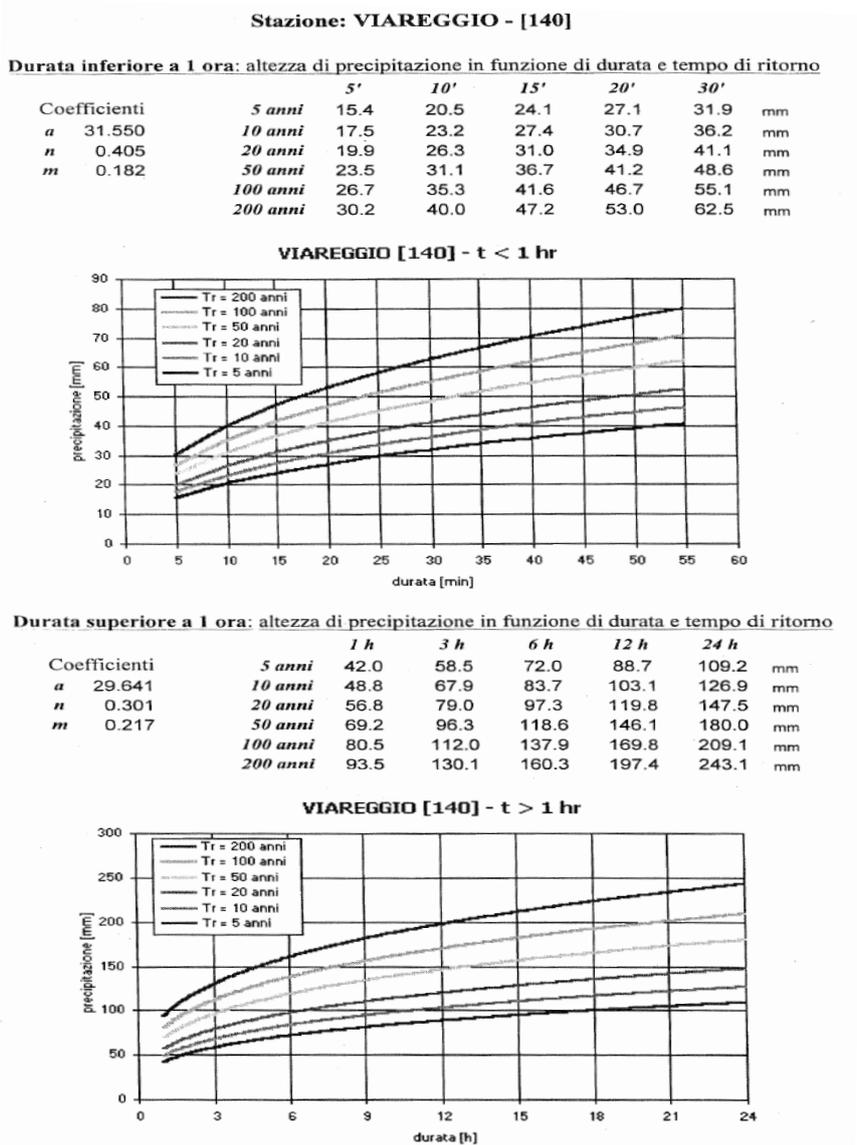
L'andamento della linea segnalatrice di probabilità pluviometrica con il metodo TCEV assume la forma:

$$h = a \cdot t^n \cdot T_r^m$$

in cui:

h = altezza di pioggia [mm]  
t = tempo di pioggia [ore]  
a, n e m = parametri della linea segnalatrice  
Tr = tempo di ritorno[anni].

Nella Figura 16 si riportano i parametri caratteristici e l'andamento della linea segnalatrice al variare del tempo di ritorno (Tr) per la stazione di Viareggio (LU) dedotta dalle pubblicazioni dell'Istituto Idrografico e Mareografico.



**Figura 16** – LSPP col metodo TCEV in funzione della durata della pioggia e del tempo di ritorno (Istituto Idrografico e Mareografico).

L'altezza di pioggia rilevabile dalle analisi condotte è pari rispettivamente a 63.08 mm per il metodo Gumbel (Figura 15) e di 56.8 mm per il metodo TCEV (Figura 16). In virtù di questi valori si fissa cautelativamente una pioggia oraria con tempo di ritorno di venti anni pari a **58 mm**.

In aggiunta a quanto sopra, si è cercato di offrire una valutazione di coefficienti utili alla determinazione del contributo alla rete scolante delle varie superfici in base alla loro tipologia.

Il volume d'acqua prodotto dalla variazione di permeabilità delle superfici (aree scolanti) previste dall'intervento edilizio, è, infatti, funzione oltre che della sua estensione, dell'incremento del coefficienti di deflusso, dell'altezza e della durata della pioggia. La formula per il loro calcolo difatti può essere espressa come:

$$V = S \cdot \Delta\varphi \cdot h$$

in cui:

S = area scolante introdotta o modificata dall'intervento [m2];

h = intensità di pioggia funzione della durata e dell'intensità di pioggia[mm];

$\Delta\varphi$  = variazione del coefficiente di deflusso =  $\varphi_{\text{post}} - \varphi_{\text{pre}}$

dove:

$\varphi_{\text{post}}$  = coefficiente di deflusso dell'area scolante dopo l'intervento;

$\varphi_{\text{pre}}$  = coefficiente di deflusso dell'area scolante prima dell'intervento.

I sistemi di ritenzione e laminazione acque di pioggia non sono inquadrabili come vere e proprie opere di difesa idraulica, ma come accorgimenti di regolarizzazione delle opere di drenaggio urbano in condizioni di funzionamento non critico.

Le valutazioni del surplus di volume connesso all'intervento possono essere fatte attraverso le seguenti condizioni:

- durata della pioggia di 1 ora;
- eventi estremi per tempi di ritorno di 20 anni.

La determinazione del coefficiente di deflusso delle aree scolanti può essere fatta facendo riferimento a valori presenti in letteratura, ed in particolare quelli proposti da Ippoliti nel 1960 riportati nella Tabella 20:

Sulla base dei valori di Tabella 20 si individuano tre macro tipologie di aree scolanti, assegnando a ciascuna delle quali il coefficiente di deflusso da utilizzare per i calcoli:

Superfici impermeabili (tetti, coperture metalliche, piazzali o viali asfaltati o cementati ecc.)  $\varphi = 1.00$

Superfici drenanti (pavimentazioni drenanti o a blocchi sconnessi, piazzali o viali in terra battuta ...ecc.)  $\varphi = 0.45$

Superfici permeabili (giardini, aree a verde, parchi .....ecc.)  $\varphi = 0.15$

<i>tipo di superficie</i>	$\phi$
<i>tetti impermeabili</i>	0,70 - 0,95
<i>pavimentazioni d'asfalto ben tenute</i>	0,85 - 0,90
<i>pavimentazioni di pietra, laterizi o legno con buone connessioni di cemento</i>	0,75 - 0,85
<i>pavimentazioni di pietra, laterizi o legno con giunti aperti o non cementati</i>	0,50 - 0,70
<i>pavimentazioni a blocchi sconnessi con giunti aperti</i>	0,40 - 0,50
<i>strade di macadam</i>	0,25 - 0,60
<i>strade e viali di ghiaietto</i>	0,15 - 0,30
<i>superfici non pavimentate, piazzali ferroviari, terreni non edificati</i>	0,10 - 0,30
<i>parchi, giardini, prati, a seconda della pendenza e della natura del suolo</i>	0,05 - 0,25
<i>aree boschive e foreste, a seconda della pendenza e della natura del suolo</i>	0,01 - 0,20

**Tabella 20** – Valori tipici del coefficiente di afflusso in funzione della superficie.

Le superfici individuate dal PA, in base ai riscontri ottenuti con i progettisti sono riassunte nella seguente Tabella 21:

	tot. Sub A	B1	B2 e B3	Bverde	P1	P2	P3	strada ViaBellini	strada Via(Toti)
SUPERFICIE DI COMPETENZA	13563	2350	4356	2436	1236	875	886	1727	521
SUPERFICIE COPERTA	1974	765	844	0	0	0	588	strada bianca	asfalto 707
RAMPA	0	50	0	0	0	0	0	0	0
PISCINA	507	0	122	0	0	0	0	0	0
PARCHEGGI 122	2004	287	612	0	0	0	0	0	0
PERCORSI INTERNI	1283	241	291	0	0	436	0	0	0
STALLI E PERCORSI	1159	0	368	0	0	0	0	no	si
PAVIMENTAZIONE DRENANTE	845	200	980	0	710	439	164	1727	521
VERDE	5791	807	1139	2436	526	0	134	0	0

**Tabella 21** – Superfici scolanti del PA e loro caratteristiche di permeabilità.

#### 6.2.1.2 - Calcolo della portata allo stato attuale

Attribuendo a al tempo di pioggia il valore di 1.0 ora, a  $\psi$  un valore pari a 0.15 per le aree a verde, attualmente l'intero comparto, si ottiene un valore delle portate iniziali come di seguito riportato:

Sub-comparto A  
Q= 0.0327799 32.780 l/s

Sub-comparto B1  
Q= 0.0056796 5.680 l/s

Sub-comparto B2-B3  
Q= 0.0105278 10.528 l/s

Sub-comparto P1  
Q= 0.0029872 2.987 l/s

Sub-comparto P2  
Q= 0.0021148 2.115 l/s

Sub-comparto P3  
Q= 0.0021413 2.141 l/s

Via Bellini

Q= 0.0041739 4.174 l/s

Via Toti

Q= 0.0012592 1.259 l/s

6.2.1.3 - Calcolo della portata allo stato modificato e Calcolo della le volumetrie da ritenere e possibili soluzioni progettuali

Attribuendo al tempo di pioggia il valore di 1.0 ora, a  $\psi$  un valore pari a 0.15 per le aree a verde, un valore pari a 1.0 per le aree impermeabili ed a 0.45 per le aree semipermeabili, si ottiene un valore delle portate iniziali come di seguito riportato:

Il calcolo della volumetria di ritenzione viene effettuato considerando la differenza tra la portata post e pre-intervento, moltiplicata per il tempo di scroscio di 1.0 ora.

Sub-comparto A

	Stato attuale	Stato di progetto	Superfici modificate
Tipologia area scolante	Superficie (mq)	Superficie (mq)	Superficie (mq)
Impermeabili	0	3640	3640
Permeabili	13563	5791	-7772
Drenanti	0	4132	4132
Totale	13563	13563	0
	<b>mc</b>		
<b>Volume da ritenere</b>	<b>251.369</b>		

Sub-comparto B1

	Stato attuale	Stato di progetto	Superfici modificate
Tipologia area scolante	Superficie (mq)	Superficie (mq)	Superficie (mq)
Impermeabili	0	815	815
Permeabili	2350	807	-1543
Drenanti	0	728	728
Totale	2350	2350	0
	<b>mc</b>		
<b>Volume da ritenere</b>	<b>52.851</b>		

Sub-comparto B2-B3

	Stato attuale	Stato di progetto	Superfici modificate
Tipologia area scolante	Superficie (mq)	Superficie (mq)	Superficie (mq)
Impermeabili	0	1334	1334
Permeabili	4356	1139	-3217
Drenanti	0	1883	1883

Totale	4356	4356	0
	mc		
<b>Volume da ritenere</b>	<b>98.538</b>		

Sub-comparto P1

	Stato attuale	Stato di progetto	Superfici modificate
Tipologia area scolante	Superficie (mq)	Superficie (mq)	Superficie (mq)
Impermeabili	0	0	0
Permeabili	1236	526	-710
Drenanti	0	710	710
Totale	1236	1236	0
	mc		
<b>Volume da ritenere</b>	<b>12.355</b>		

Sub-comparto P2

	Stato attuale	Stato di progetto	Superfici modificate
Tipologia area scolante	Superficie (mq)	Superficie (mq)	Superficie (mq)
Impermeabili	0	0	0
Permeabili	875	0	-875
Drenanti	0	875	875
Totale	875	875	0
	mc		
<b>Volume da ritenere</b>	<b>15.226</b>		

Sub-comparto P3

	Stato attuale	Stato di progetto	Superfici modificate
Tipologia area scolante	Superficie (mq)	Superficie (mq)	Superficie (mq)
Impermeabili	0	588	588
Permeabili	886	134	-752
Drenanti	0	164	164
Totale	886	886	0
	mc		
<b>Volume da ritenere</b>	<b>31.845</b>		

Via Bellini

	Stato attuale	Stato di progetto	Superfici modificate
Tipologia area scolante	Superficie (mq)	Superficie (mq)	Superficie (mq)
Impermeabili	0	0	0
Permeabili	1727	0	-1727
Drenanti	0	1727	1727
Totale	1727	1727	0

	mc		
<b>Volume da ritenere</b>	<b>30.052</b>		

Via Toti

	Stato attuale	Stato di progetto	Superfici modificate
Tipologia area scolante	Superficie (mq)	Superficie (mq)	Superficie (mq)
Impermeabili	0	521	521
Permeabili	521	0	-521
Drenanti	0	0	0
Totale	521	521	0
	mc		
<b>Volume da ritenere</b>	<b>25.687</b>		

Il volume di ritenzione complessivo dovrà essere pertanto, per i singoli sotto compartimenti considerati, non inferiore a quello indicato in Tab. 22:

Sub-comparto	VOLME DI COMPENSO
<b>A</b>	<b>251.5 m<sup>3</sup></b>
<b>B1</b>	<b>53.0 m<sup>3</sup></b>
<b>B2/B3</b>	<b>99.0 m<sup>3</sup></b>
<b>P1</b>	<b>12.5 m<sup>3</sup></b>
<b>P2</b>	<b>15.5 m<sup>3</sup></b>
<b>P3</b>	<b>32.0 m<sup>3</sup></b>
<b>V Bellini</b>	<b>31.0 m<sup>3</sup></b>
<b>V Toti</b>	<b>26.0 m<sup>3</sup></b>

**Tabella 22** – Volumetrie da ritenere per ogni sub-comparto.

Al fine di non incrementarne in modo anomalo la portata di picco in seguito ad un eventuale scarico in pubblica fognatura, si prevede di regimare le acque di scolo derivanti dalla realizzazione dell'intervento. In questo modo se ne realizzerà l'immagazzinamento ed il lento rilascio attraverso un volume di compenso, costituito da un "vuoto" all'interno della proprietà in cui è possibile immagazzinare i volumi idrici calcolati.

Si suggerisce di prediligere soluzioni che consentano di favorire l'infiltrazione nel terreno all'interno del lotto di proprietà o di prevedere la realizzazione di una vasca di stoccaggio temporaneo, da posizionare secondo le esigenze progettuali, per un volume complessivo pari a quello sopra indicato, per ogni singolo sub-comparto, le cui caratteristiche siano rispondenti alle esigenze di massima efficienza.

Si ribadisce che in questa sede non risulta opportuno scendere in un maggior dettaglio considerando che non si è ancora in fase di progettazione esecutiva e non si conoscono esattamente superfici e spazi disponibili, nonché geometrie e disposizioni degli interventi.

### 6.3 – Tutela delle risorse idriche sotterranee

Considerando la vulnerabilità dell'acquifero sotterraneo che, nelle aree di piano presenta una protezione superficiale limitata o addirittura nulla, risultano necessari, accorgimenti atti ad evitare il rischio di inquinamento: le reti, specie quelle per la gestione delle acque reflue domestiche, che dovranno essere realizzate, implementate o migliorate con tutte le garanzie di sicurezza per scongiurare sversamenti accidentali o dispersione in falda di eventuali sostanze inquinanti; le tecniche di realizzazione dovranno essere esplicitamente documentate in fase progettuale.

In riferimento alle problematiche idrogeologiche, si fa presente che la Normativa di Attuazione del R.U vigente (art. 9), fornisce indicazioni e limite gli interventi come di seguito illustrato:

- Le aree a media e alta vulnerabilità della falda idrica sotterranea sono soggette alle seguenti limitazioni: i piani attuativi e gli interventi diretti concernenti impianti e/o attività inquinanti sono approvabili ed abilitabili soltanto se corredati della valutazione della vulnerabilità reale locale e dal progetto delle eventuali opere necessarie alla mitigazione del rischio potenziale specifico, eventualmente necessarie.
- Le aree a elevata e elevatissima vulnerabilità della falda idrica sotterranea sono soggette a fortissime limitazioni: Non ammissibili, di norma, le trasformazioni comportanti impianti e/o attività potenzialmente molto inquinanti, quali impianti per zootecnia di carattere industriale; impianti di itticoltura intensiva; manifatture potenzialmente a forte capacità di inquinamento; centrali termoelettriche; depositi a cielo aperto ed altri stoccaggi di materiali inquinanti idroveicolabili. Limitazioni e prescrizioni da osservare per cave, collettori fognari, strade di grande o media comunicazione, pascolo e stazzo di bestiame, colture utilizzando pesticidi, diserbanti e fertilizzanti. Non sono ammissibili né la realizzazione né l'ampliamento di discariche, se non per i materiali di risulta dell'attività edilizia completamente inertizzati. Le attività estrattive di cava sono ammissibili a condizione che idonei studi idrogeologici, corredanti i progetti di coltivazione, escludano ogni possibile interferenza negativa con la circolazione idrica sotterranea. Nell'esecuzione delle opere destinate a contenere o a convogliare sostanze, liquide o solide o gassose, potenzialmente inquinanti, quali cisterne, reti fognarie, oleodotti, gasdotti, e simili, devono essere poste in essere particolari cautele atte a garantire la tenuta idraulica, quali l'approntamento di bacini di contenimento a tenuta stagna, di sistemi di evacuazione d'emergenza, di materiali o pannelli assorbenti, e simili. Sono comunque vietati: a) gli scarichi liberi sul suolo e nel sottosuolo di liquidi e di altre sostanze di qualsiasi genere o provenienza; b) il lagunaggio dei liquami prodotti da allevamenti zootecnici aziendali o interaziendali, al di fuori di appositi lagoni di accumulo impermeabilizzati con materiali artificiali.

Al fine della tutela della falda idrica sotterranea, ogni nuovo prelievo sarà subordinato all'assenso da parte dell'Autorità di Bacino Toscana Nord e della Provincia di Lucca.

In aggiunta a quanto sopra, nel caso di opere ed interventi finalizzati esclusivamente alla captazione delle acque sotterranee (pozzi e/o sorgenti sia ad uso privato sia pubblico), si prescrive l'osservanza al D.Lgs. 152/2006 e s.m.i.. Progetti di nuove opere di captazione, oltre alle normative vigenti in materia, dovranno rispettare quanto previsto dal D.Lgs. 152/2006 e succ. mod. ed int..

Ai fini della tutela e salvaguardia delle risorse idriche si dovrà fare riferimento a quanto contenuto nel D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. nonché al Piano di Tutela delle Acque approvato dalla Regione Toscana ai sensi della Direttiva 2000/60/CEE i e alla L.R. 20/2006. Gli scarichi liberi nel suolo e nel sottosuolo, in qualsiasi condizione di vulnerabilità idrogeologica potenziale intrinseca, sono ammessi con le limitazioni di cui al Capo III del D.Lgs. 152/06 e s.m.i..

## 6.4 - Terre e rocce da scavo

Per ciò che concerne la gestione delle "terre e rocce da scavo", sulla base di quanto contenuto nel D.P.R. n. 120 del 13.06.2017 ("Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n. 133, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 novembre 2014, n. 164"), se il materiale eventualmente estratto per la realizzazione dell'intervento dovesse essere riutilizzato come sottoprodotto all'interno del sito di cantiere per rinterrati, riempimenti, rimodellazioni e rilevati, sarà necessario operare secondo quanto prescritto dall'art. 184-bis del D.L.G.S. 152/06.

A tale proposito, si ricorda che:

- il materiale eventualmente escavato per la realizzazione delle fondazioni è esclusivamente costituito da terreno naturale;
- il sito di intervento non è, né è mai stato, utilizzato per attività potenzialmente in grado di indurre contaminazioni nel terreno;
- non sono stati riferiti nello storico del lotto eventi di interrimento di manufatti potenzialmente inquinanti

Ad ogni modo sarà cura del produttore di tali materiali di scavo fornire idonea dimostrazione che il materiale si trova allo stato naturale non contaminato, secondo quanto previsto dall'Art. 21 del D.P.R. 120/17. Lo stesso dovrà predisporre idonea attestazione attraverso una dichiarazione (Dichiarazione sostitutiva di atto di notorietà ai sensi del D.P.R. 445/2000). In alternativa si potrà conferire in pubblica discarica tutti i terreni estratti, e quindi gestirli nell'ambito delle procedure dei rifiuti mediante appositi formulari.

*Pietrasanta, 21 dicembre 2017*

Dott. Geol. Vanessa Greco



COMUNE DI PIETRASANTA

Piano Attuativo EX COMPARTO 51 - Tonfano

## indagini geognostiche di riferimento

# ANNESSO

G&Geo  Studio Geologi Associati



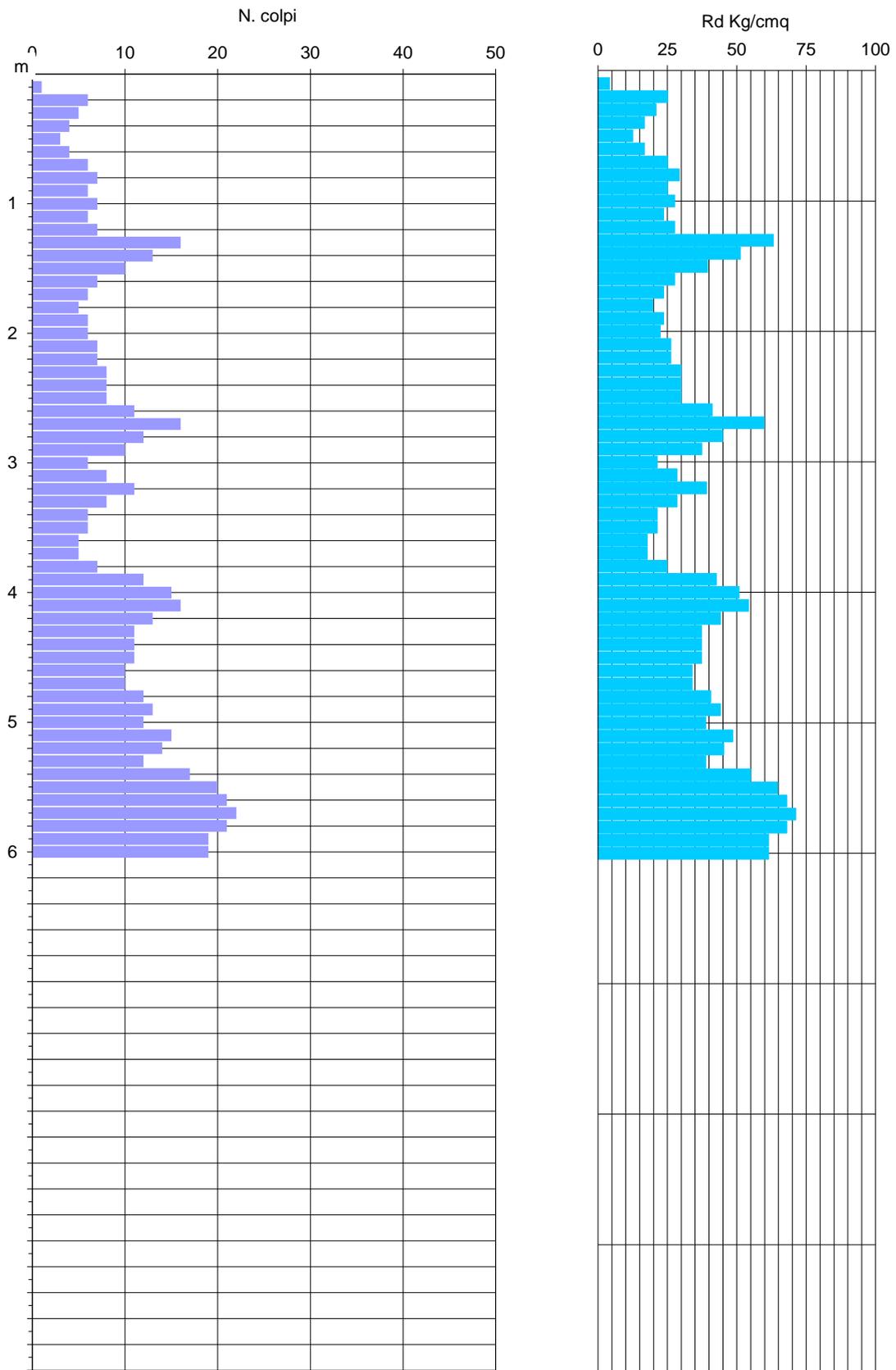
Via. Sordani 25/A, n. 4  
55045 Pietrasanta (LU)  
Part. IVA 02979620454  
Tel. +39 0584 1845215  
C.C.I.A.A. 02907130454/02907130455  
info@geo.it

Studio Geologi Associati  
Vanessa Greco  
02907130454

**INDAGINI GEOLOGICO-TECNICHE**

Vanessa GRECO  
GEOLOGO

Prova n. : <b>1</b>						Data: <b>28/10/2005</b>							
Località : <b>Tonfano (LU)</b>						riferimento: <b>10tonfano1</b>							
q.ta inizio (m) : <b>p.c.</b>						quota falda d.p.c. (m) : <b>-1,30</b>							
lettura di campagna						elaborazione							
(m)	$\alpha$	$N_{(10)}$	(m)	$\alpha$	$N_{(10)}$	(m)	Rd	(m)	Rd	(m)	$N_{SPT}$	(m)	$N_{SPT}$
0,1	1,00	<b>1</b>	5,1	1,00	<b>15</b>	0,1	<b>4,18</b>	5,1	<b>48,56</b>	0,1	<b>2</b>	5,1	<b>14</b>
0,2	1,00	<b>6</b>	5,2	1,00	<b>14</b>	0,2	<b>25,06</b>	5,2	<b>45,32</b>	0,2	<b>8</b>	5,2	<b>13</b>
0,3	1,00	<b>5</b>	5,3	1,00	<b>12</b>	0,3	<b>20,88</b>	5,3	<b>38,85</b>	0,3	<b>6</b>	5,3	<b>11</b>
0,4	1,00	<b>4</b>	5,4	1,00	<b>17</b>	0,4	<b>16,71</b>	5,4	<b>55,04</b>	0,4	<b>5</b>	5,4	<b>15</b>
0,5	1,00	<b>3</b>	5,5	1,00	<b>20</b>	0,5	<b>12,53</b>	5,5	<b>64,75</b>	0,5	<b>4</b>	5,5	<b>18</b>
0,6	1,00	<b>4</b>	5,6	1,00	<b>21</b>	0,6	<b>16,71</b>	5,6	<b>67,99</b>	0,6	<b>5</b>	5,6	<b>18</b>
0,7	1,00	<b>6</b>	5,7	1,00	<b>22</b>	0,7	<b>25,06</b>	5,7	<b>71,22</b>	0,7	<b>8</b>	5,7	<b>19</b>
0,8	1,00	<b>7</b>	5,8	1,00	<b>21</b>	0,8	<b>29,23</b>	5,8	<b>67,99</b>	0,8	<b>9</b>	5,8	<b>18</b>
0,9	1,00	<b>6</b>	5,9	1,00	<b>19</b>	0,9	<b>25,06</b>	5,9	<b>61,51</b>	0,9	<b>8</b>	5,9	<b>17</b>
1	1,00	<b>7</b>	6,0	1,00	<b>19</b>	1	<b>27,63</b>	6,0	<b>61,51</b>	1	<b>8</b>	6	<b>17</b>
1,1	1,00	<b>6</b>				1,1	<b>23,68</b>			1,1	<b>7</b>		
1,2	1,00	<b>7</b>				1,2	<b>27,63</b>			1,2	<b>8</b>		
1,3	1,00	<b>16</b>				1,3	<b>63,16</b>			1,3	<b>17</b>		
1,4	1,00	<b>13</b>				1,4	<b>51,32</b>			1,4	<b>14</b>		
1,5	1,00	<b>10</b>				1,5	<b>39,47</b>			1,5	<b>11</b>		
1,6	1,00	<b>7</b>				1,6	<b>27,63</b>			1,6	<b>8</b>		
1,7	1,00	<b>6</b>				1,7	<b>23,68</b>			1,7	<b>7</b>		
1,8	1,00	<b>5</b>				1,8	<b>19,74</b>			1,8	<b>6</b>		
1,9	1,00	<b>6</b>				1,9	<b>23,68</b>			1,9	<b>7</b>		
2	1,00	<b>6</b>				2	<b>22,45</b>			2	<b>7</b>		
2,1	1,00	<b>7</b>				2,1	<b>26,20</b>			2,1	<b>8</b>		
2,2	1,00	<b>7</b>				2,2	<b>26,20</b>			2,2	<b>8</b>		
2,3	1,00	<b>8</b>				2,3	<b>29,94</b>			2,3	<b>9</b>		
2,4	1,00	<b>8</b>				2,4	<b>29,94</b>			2,4	<b>9</b>		
2,5	1,00	<b>8</b>				2,5	<b>29,94</b>			2,5	<b>9</b>		
2,6	1,00	<b>11</b>				2,6	<b>41,16</b>			2,6	<b>12</b>		
2,7	1,00	<b>16</b>				2,7	<b>59,88</b>			2,7	<b>16</b>		
2,8	1,00	<b>12</b>				2,8	<b>44,91</b>			2,8	<b>13</b>		
2,9	1,00	<b>10</b>				2,9	<b>37,42</b>			2,9	<b>11</b>		
3	1,00	<b>6</b>				3	<b>21,34</b>			3	<b>7</b>		
3,1	1,00	<b>8</b>				3,1	<b>28,46</b>			3,1	<b>8</b>		
3,2	1,00	<b>11</b>				3,2	<b>39,13</b>			3,2	<b>11</b>		
3,3	1,00	<b>8</b>				3,3	<b>28,46</b>			3,3	<b>8</b>		
3,4	1,00	<b>6</b>				3,4	<b>21,34</b>			3,4	<b>7</b>		
3,5	1,00	<b>6</b>				3,5	<b>21,34</b>			3,5	<b>7</b>		
3,6	1,00	<b>5</b>				3,6	<b>17,79</b>			3,6	<b>6</b>		
3,7	1,00	<b>5</b>				3,7	<b>17,79</b>			3,7	<b>6</b>		
3,8	1,00	<b>7</b>				3,8	<b>24,90</b>			3,8	<b>7</b>		
3,9	1,00	<b>12</b>				3,9	<b>42,69</b>			3,9	<b>12</b>		
4	1,00	<b>15</b>				4	<b>50,85</b>			4	<b>14</b>		
4,1	1,00	<b>16</b>				4,1	<b>54,24</b>			4,1	<b>15</b>		
4,2	1,00	<b>13</b>				4,2	<b>44,07</b>			4,2	<b>12</b>		
4,3	1,00	<b>11</b>				4,3	<b>37,29</b>			4,3	<b>11</b>		
4,4	1,00	<b>11</b>				4,4	<b>37,29</b>			4,4	<b>11</b>		
4,5	1,00	<b>11</b>				4,5	<b>37,29</b>			4,5	<b>11</b>		
4,6	1,00	<b>10</b>				4,6	<b>33,90</b>			4,6	<b>10</b>		
4,7	1,00	<b>10</b>				4,7	<b>33,90</b>			4,7	<b>10</b>		
4,8	1,00	<b>12</b>				4,8	<b>40,68</b>			4,8	<b>12</b>		
4,9	1,00	<b>13</b>				4,9	<b>44,07</b>			4,9	<b>12</b>		
5	1,00	<b>12</b>				5	<b>38,85</b>			5	<b>11</b>		



Prova n. :	<b>1</b>	Data:	<b>28/10/05</b>
Località :	<b>Tonfano (LU)</b>	riferimento:	<b>10tonfano1</b>
q.ta inizio (m) :	<b>p.c.</b>	quota falda d.p.c. (m) :	<b>-1,30</b>

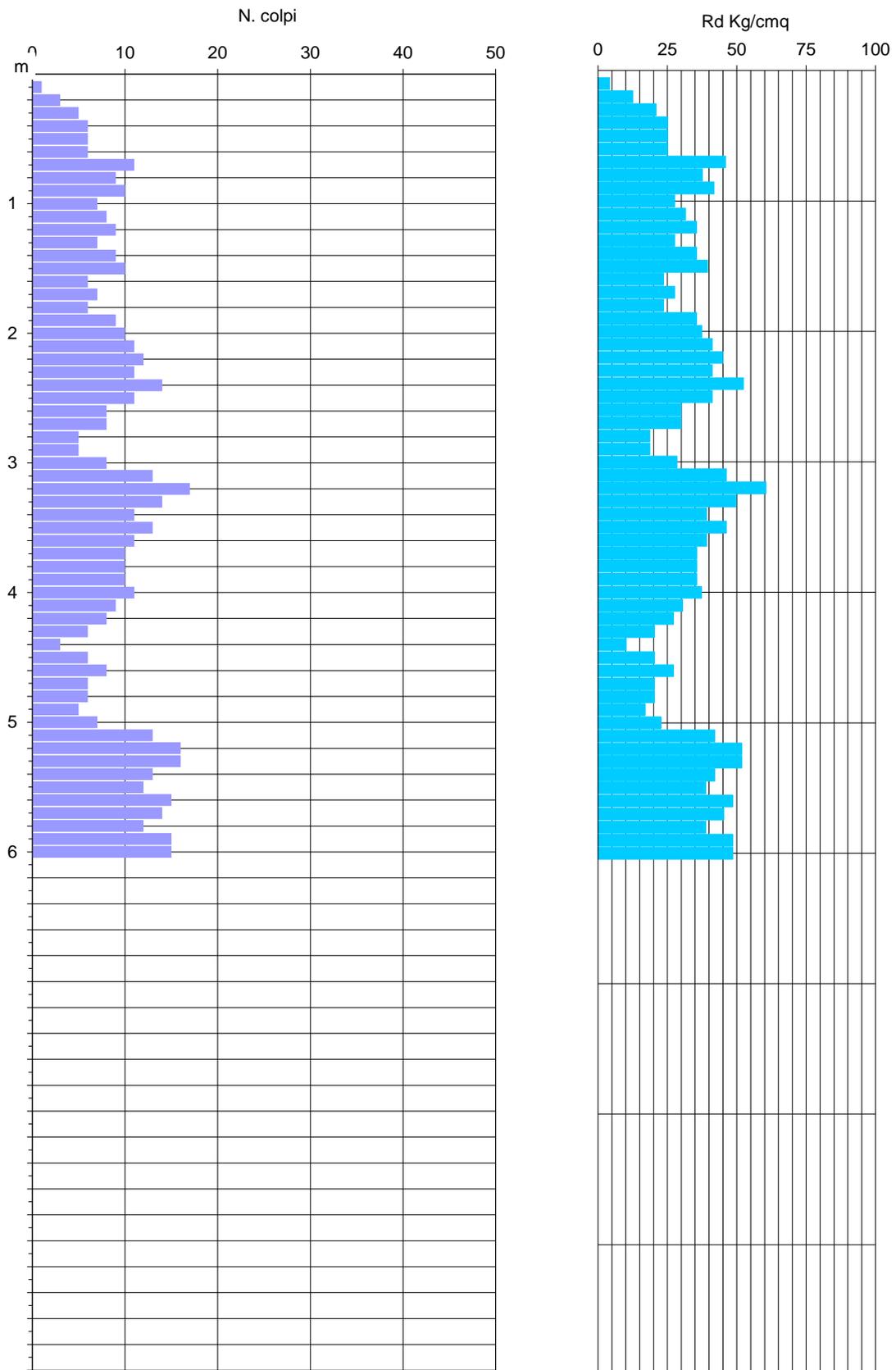
profondità			ELABORAZIONE STATISTICA				valore assunto	coeff. riduz.
da m	a m		media	max.	min	s	N <sub>spt</sub>	$\alpha$
0,00	1,20	N	5	7	1	1,85	6	1,00
		Rd	21,20	29,23	4,18	7,41		
1,20	1,50	N	13	16	10	3,00	14	1,00
		Rd	51,32	63,16	39,47	11,84		
1,50	2,50	N	7	8	5	1,03	8	1,00
		Rd	25,94	29,94	19,74	3,52		
2,50	3,20	N	11	16	6	3,15	11	1,00
		Rd	38,90	59,88	21,34	12,25		
3,20	3,80	N	6	8	5	1,17	7	1,00
		Rd	21,94	28,46	17,79	4,16		
3,80	5,30	N	12	16	10	1,85	12	1,00
		Rd	41,86	54,24	33,90	6,04		
5,30	6,00	N	20	22	17	1,68	18	1,00
		Rd	64,29	71,22	55,04	5,43		

PARAMETRI GEOTECNICI INDICATIVI											
profondità		ipotesi di terreni <b>granulari</b>					ipotesi di terreni <b>coesivi</b>				
da m	a m	N <sub>spt</sub>	stato di addensamento	Dr	$\varphi$	m <sub>v</sub>	N <sub>spt</sub>	stato di consistenza	C <sub>u</sub>	m <sub>v</sub>	
0,00	1,20	6	poco addensato	24	27	0,0147	5	moderatamente consistente	0,31	0,0161	
1,20	1,50	14	moderatamente addensato	45	30	0,0097	12	consistente	0,80	0,0069	
1,50	2,50	8	poco addensato	28	28	0,0135	6	moderatamente consistente	0,39	0,0133	
2,50	3,20	11	moderatamente addensato	38	29	0,0112	9	consistente	0,60	0,0090	
3,20	3,80	7	poco addensato	25	27	0,0145	5	moderatamente consistente	0,32	0,0156	
3,80	5,30	12	moderatamente addensato	40	29	0,0108	10	consistente	0,65	0,0084	
5,30	6,00	18	moderatamente addensato	51	32	0,0085	15	molto consistente	1,01	0,0056	

Legenda:

N = numero colpi/10 cm penetrometro; Rd = resistenza dinamica; N<sub>spt</sub> = numero colpi prova SPT ricavato da Rd ed N;  $\alpha$  = coefficiente di riduzione per attrito laterale; s = scarto quadratico medio.  
 Dr = densità relativa (%);  $\varphi$  = angolo di attrito interno; m<sub>v</sub> = coefficiente di compressibilità volumetrica (cmq/Kg); C<sub>u</sub> = coesione non drenata (Kg/cmq).

Prova n. : <b>2</b>						Data: <b>28/10/2005</b>							
Località : <b>Tonfano (LU)</b>						riferimento: <b>10tonfano2</b>							
q.ta inizio (m) : <b>p.c.</b>						quota falda d.p.c. (m) : <b>-1,60</b>							
letture di campagna						elaborazione							
(m)	$\alpha$	$N_{(10)}$	(m)	$\alpha$	$N_{(10)}$	(m)	Rd	(m)	Rd	(m)	$N_{SPT}$	(m)	$N_{SPT}$
0,1	1,00	1	5,1	1,00	13	0,1	4,18	5,1	42,09	0,1	2	5,1	12
0,2	1,00	3	5,2	1,00	16	0,2	12,53	5,2	51,80	0,2	4	5,2	14
0,3	1,00	5	5,3	1,00	16	0,3	20,88	5,3	51,80	0,3	6	5,3	14
0,4	1,00	6	5,4	1,00	13	0,4	25,06	5,4	42,09	0,4	8	5,4	12
0,5	1,00	6	5,5	1,00	12	0,5	25,06	5,5	38,85	0,5	8	5,5	11
0,6	1,00	6	5,6	1,00	15	0,6	25,06	5,6	48,56	0,6	8	5,6	14
0,7	1,00	11	5,7	1,00	14	0,7	45,94	5,7	45,32	0,7	13	5,7	13
0,8	1,00	9	5,8	1,00	12	0,8	37,59	5,8	38,85	0,8	11	5,8	11
0,9	1,00	10	5,9	1,00	15	0,9	41,76	5,9	48,56	0,9	12	5,9	14
1	1,00	7	6,0	1,00	15	1	27,63	6,0	48,56	1	8	6	14
1,1	1,00	8				1,1	31,58			1,1	9		
1,2	1,00	9				1,2	35,53			1,2	10		
1,3	1,00	7				1,3	27,63			1,3	8		
1,4	1,00	9				1,4	35,53			1,4	10		
1,5	1,00	10				1,5	39,47			1,5	11		
1,6	1,00	6				1,6	23,68			1,6	7		
1,7	1,00	7				1,7	27,63			1,7	8		
1,8	1,00	6				1,8	23,68			1,8	7		
1,9	1,00	9				1,9	35,53			1,9	10		
2	1,00	10				2	37,42			2	11		
2,1	1,00	11				2,1	41,16			2,1	12		
2,2	1,00	12				2,2	44,91			2,2	13		
2,3	1,00	11				2,3	41,16			2,3	12		
2,4	1,00	14				2,4	52,39			2,4	15		
2,5	1,00	11				2,5	41,16			2,5	12		
2,6	1,00	8				2,6	29,94			2,6	9		
2,7	1,00	8				2,7	29,94			2,7	9		
2,8	1,00	5				2,8	18,71			2,8	6		
2,9	1,00	5				2,9	18,71			2,9	6		
3	1,00	8				3	28,46			3	8		
3,1	1,00	13				3,1	46,25			3,1	13		
3,2	1,00	17				3,2	60,47			3,2	17		
3,3	1,00	14				3,3	49,80			3,3	14		
3,4	1,00	11				3,4	39,13			3,4	11		
3,5	1,00	13				3,5	46,25			3,5	13		
3,6	1,00	11				3,6	39,13			3,6	11		
3,7	1,00	10				3,7	35,57			3,7	10		
3,8	1,00	10				3,8	35,57			3,8	10		
3,9	1,00	10				3,9	35,57			3,9	10		
4	1,00	11				4	37,29			4	11		
4,1	1,00	9				4,1	30,51			4,1	9		
4,2	1,00	8				4,2	27,12			4,2	8		
4,3	1,00	6				4,3	20,34			4,3	6		
4,4	1,00	3				4,4	10,17			4,4	3		
4,5	1,00	6				4,5	20,34			4,5	6		
4,6	1,00	8				4,6	27,12			4,6	8		
4,7	1,00	6				4,7	20,34			4,7	6		
4,8	1,00	6				4,8	20,34			4,8	6		
4,9	1,00	5				4,9	16,95			4,9	5		
5	1,00	7				5	22,66			5	7		



Prova n. :	<b>2</b>	Data:	<b>28/10/05</b>
Località :	<b>Tonfano (LU)</b>	riferimento:	<b>10tonfano2</b>
q.ta inizio (m) :	<b>p.c.</b>	quota falda d.p.c. (m) :	<b>-1,60</b>

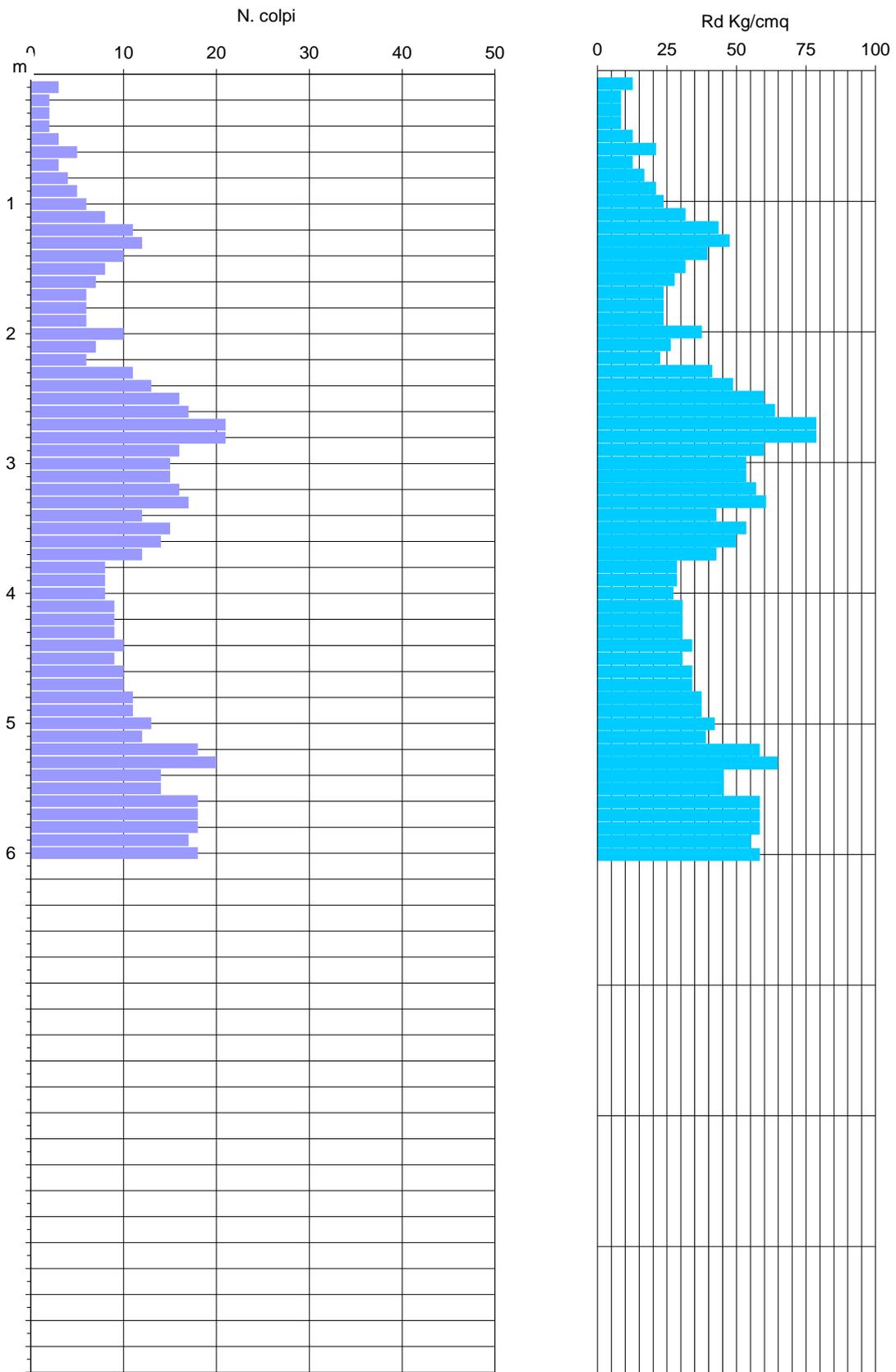
profondità			ELABORAZIONE STATISTICA				valore assunto	coeff. riduz.
da m	a m		media	max.	min	s	N <sub>spt</sub>	$\alpha$
0,00	0,60	N	5	6	1	2,07	6	1,00
		Rd	18,79	25,06	4,18	8,66		
0,60	2,50	N	9	14	6	2,14	11	1,00
		Rd	36,39	52,39	23,68	7,84		
2,50	3,00	N	7	8	5	1,64	8	1,00
		Rd	25,15	29,94	18,71	5,91		
3,00	4,00	N	12	17	10	2,26	12	1,00
		Rd	42,50	60,47	35,57	8,15		
4,00	5,00	N	6	9	3	1,71	7	1,00
		Rd	21,59	30,51	10,17	5,77		
5,00	6,00	N	14	16	12	1,52	13	1,00
		Rd	45,65	51,80	38,85	4,93		

PARAMETRI GEOTECNICI INDICATIVI										
profondità		ipotesi di terreni <b>granulari</b>					ipotesi di terreni <b>coesivi</b>			
da m	a m	N <sub>spt</sub>	stato di addensamento	Dr	$\varphi$	m <sub>v</sub>	N <sub>spt</sub>	stato di consistenza	c <sub>u</sub>	m <sub>v</sub>
0,00	0,60	6	poco addensato	22	27	0,0153	4	moderatamente consistente	0,27	0,0180
0,60	2,50	11	moderatamente addensato	36	29	0,0116	9	consistente	0,56	0,0096
2,50	3,00	8	poco addensato	28	27	0,0137	6	moderatamente consistente	0,38	0,0137
3,00	4,00	12	moderatamente addensato	40	30	0,0107	10	consistente	0,66	0,0083
4,00	5,00	7	poco addensato	25	27	0,0146	5	moderatamente consistente	0,32	0,0158
5,00	6,00	13	moderatamente addensato	42	30	0,0103	11	consistente	0,71	0,0078

Legenda:

N = numero colpi/10 cm penetrometro; Rd = resistenza dinamica; N<sub>spt</sub> = numero colpi prova SPT ricavato da Rd ed N;  $\alpha$  = coefficiente di riduzione per attrito laterale; s = scarto quadratico medio.  
 Dr = densità relativa (%);  $\varphi$  = angolo di attrito interno; m<sub>v</sub> = coefficiente di compressibilità volumetrica (cmq/Kg); c<sub>u</sub> = coesione non drenata (Kg/cmq).

Prova n. : <b>3</b>						Data: <b>31/10/2005</b>							
Località : <b>Tonfano (LU)</b>						riferimento: <b>10tonfano3</b>							
q.ta inizio (m) : <b>p.c.</b>						quota falda d.p.c. (m) : <b>-2,20</b>							
letture di campagna						elaborazione							
(m)	$\alpha$	$N_{(10)}$	(m)	$\alpha$	$N_{(10)}$	(m)	Rd	(m)	Rd	(m)	$N_{SPT}$	(m)	$N_{SPT}$
0,1	1,00	3	5,1	1,00	12	0,1	12,53	5,1	38,85	0,1	4	5,1	11
0,2	1,00	2	5,2	1,00	18	0,2	8,35	5,2	58,27	0,2	3	5,2	16
0,3	1,00	2	5,3	1,00	20	0,3	8,35	5,3	64,75	0,3	3	5,3	18
0,4	1,00	2	5,4	1,00	14	0,4	8,35	5,4	45,32	0,4	3	5,4	13
0,5	1,00	3	5,5	1,00	14	0,5	12,53	5,5	45,32	0,5	4	5,5	13
0,6	1,00	5	5,6	1,00	18	0,6	20,88	5,6	58,27	0,6	6	5,6	16
0,7	1,00	3	5,7	1,00	18	0,7	12,53	5,7	58,27	0,7	4	5,7	16
0,8	1,00	4	5,8	1,00	18	0,8	16,71	5,8	58,27	0,8	5	5,8	16
0,9	1,00	5	5,9	1,00	17	0,9	20,88	5,9	55,04	0,9	6	5,9	15
1	1,00	6	6,0	1,00	18	1	23,68	6,0	58,27	1	7	6	16
1,1	1,00	8				1,1	31,58			1,1	9		
1,2	1,00	11				1,2	43,42			1,2	12		
1,3	1,00	12				1,3	47,37			1,3	13		
1,4	1,00	10				1,4	39,47			1,4	11		
1,5	1,00	8				1,5	31,58			1,5	9		
1,6	1,00	7				1,6	27,63			1,6	8		
1,7	1,00	6				1,7	23,68			1,7	7		
1,8	1,00	6				1,8	23,68			1,8	7		
1,9	1,00	6				1,9	23,68			1,9	7		
2	1,00	10				2	37,42			2	11		
2,1	1,00	7				2,1	26,20			2,1	8		
2,2	1,00	6				2,2	22,45			2,2	7		
2,3	1,00	11				2,3	41,16			2,3	12		
2,4	1,00	13				2,4	48,65			2,4	14		
2,5	1,00	16				2,5	59,88			2,5	16		
2,6	1,00	17				2,6	63,62			2,6	17		
2,7	1,00	21				2,7	78,59			2,7	21		
2,8	1,00	21				2,8	78,59			2,8	21		
2,9	1,00	16				2,9	59,88			2,9	16		
3	1,00	15				3	53,36			3	15		
3,1	1,00	15				3,1	53,36			3,1	15		
3,2	1,00	16				3,2	56,92			3,2	16		
3,3	1,00	17				3,3	60,47			3,3	17		
3,4	1,00	12				3,4	42,69			3,4	12		
3,5	1,00	15				3,5	53,36			3,5	15		
3,6	1,00	14				3,6	49,80			3,6	14		
3,7	1,00	12				3,7	42,69			3,7	12		
3,8	1,00	8				3,8	28,46			3,8	8		
3,9	1,00	8				3,9	28,46			3,9	8		
4	1,00	8				4	27,12			4	8		
4,1	1,00	9				4,1	30,51			4,1	9		
4,2	1,00	9				4,2	30,51			4,2	9		
4,3	1,00	9				4,3	30,51			4,3	9		
4,4	1,00	10				4,4	33,90			4,4	10		
4,5	1,00	9				4,5	30,51			4,5	9		
4,6	1,00	10				4,6	33,90			4,6	10		
4,7	1,00	10				4,7	33,90			4,7	10		
4,8	1,00	11				4,8	37,29			4,8	11		
4,9	1,00	11				4,9	37,29			4,9	11		
5	1,00	13				5	42,09			5	12		



Prova n. :	<b>3</b>	Data:	<b>31/10/05</b>
Località :	<b>Tonfano (LU)</b>	riferimento:	<b>10tonfano3</b>
q.ta inizio (m) :	<b>p.c.</b>	quota falda d.p.c. (m) :	<b>-2,20</b>

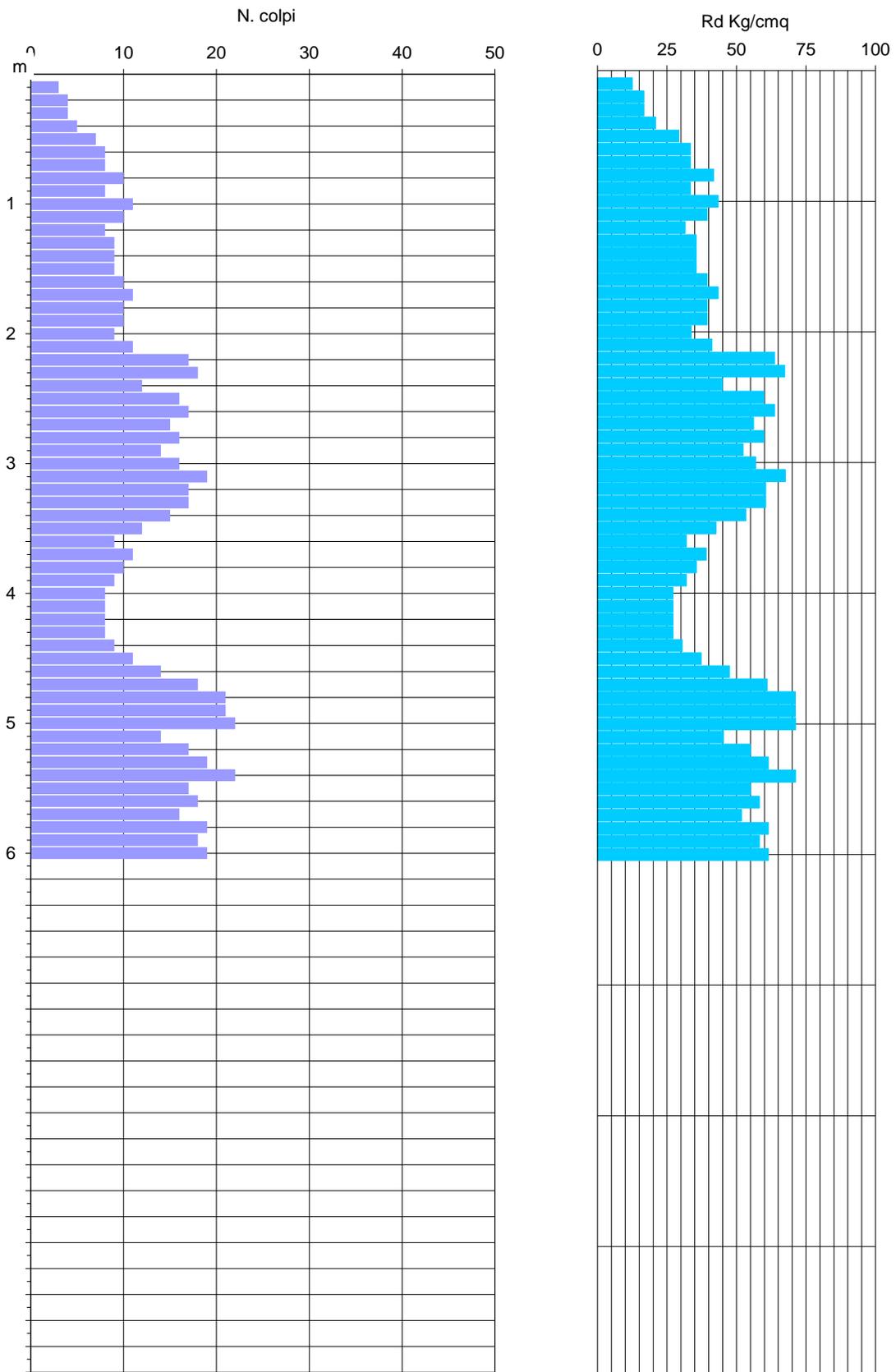
profondità			ELABORAZIONE STATISTICA				valore assunto	coeff. riduz.
da m	a m		media	max.	min	s	Nspt	$\alpha$
0,00	0,90	N	3	5	2	1,20	4	1,00
		Rd	13,46	20,88	8,35	5,02		
0,90	2,30	N	8	12	6	2,21	9	1,00
		Rd	31,64	47,37	22,45	8,57		
2,30	3,30	N	17	21	13	2,54	17	1,00
		Rd	61,33	78,59	48,65	10,07		
3,30	5,10	N	11	15	8	2,09	10	1,00
		Rd	36,21	53,36	27,12	7,50		
5,10	6,00	N	17	20	14	1,99	15	1,00
		Rd	55,76	64,75	45,32	6,43		

PARAMETRI GEOTECNICI INDICATIVI										
profondità		ipotesi di terreni <b>granulari</b>					ipotesi di terreni <b>coesivi</b>			
da m	a m	N <sub>spt</sub>	stato di addensamento	Dr	$\varphi$	m <sub>v</sub>	N <sub>spt</sub>	stato di consistenza	c <sub>u</sub>	m <sub>v</sub>
0,00	0,90	4	poco addensato	16	26	0,0171	3	molle	0,19	0,0245
0,90	2,30	9	poco addensato	33	28	0,0124	8	consistente	0,48	0,0110
2,30	3,30	17	moderatamente addensato	50	31	0,0087	15	molto consistente	0,96	0,0058
3,30	5,10	10	moderatamente addensato	36	29	0,0116	9	consistente	0,55	0,0097
5,10	6,00	15	moderatamente addensato	48	31	0,0092	13	consistente	0,87	0,0064

Legenda:

N = numero colpi/10 cm penetrometro; Rd = resistenza dinamica; N<sub>spt</sub> = numero colpi prova SPT ricavato da Rd ed N;  $\alpha$  = coefficiente di riduzione per attrito laterale; s = scarto quadratico medio.  
 Dr = densità relativa (%);  $\varphi$  = angolo di attrito interno; m<sub>v</sub> = coefficiente di compressibilità volumetrica (cmq/Kg); c<sub>u</sub> = coesione non drenata (Kg/cmq).

Prova n. : <b>4</b>						Data: <b>31/10/2005</b>							
Località : <b>Tonfano (LU)</b>						riferimento: <b>10tonfano4</b>							
q.ta inizio (m) : <b>p.c.</b>						quota falda d.p.c. (m) : <b>-1,80</b>							
lettura di campagna						elaborazione							
(m)	$\alpha$	$N_{(10)}$	(m)	$\alpha$	$N_{(10)}$	(m)	Rd	(m)	Rd	(m)	$N_{SPT}$	(m)	$N_{SPT}$
0,1	1,00	3	5,1	1,00	14	0,1	12,53	5,1	45,32	0,1	4	5,1	13
0,2	1,00	4	5,2	1,00	17	0,2	16,71	5,2	55,04	0,2	5	5,2	15
0,3	1,00	4	5,3	1,00	19	0,3	16,71	5,3	61,51	0,3	5	5,3	17
0,4	1,00	5	5,4	1,00	22	0,4	20,88	5,4	71,22	0,4	6	5,4	19
0,5	1,00	7	5,5	1,00	17	0,5	29,23	5,5	55,04	0,5	9	5,5	15
0,6	1,00	8	5,6	1,00	18	0,6	33,41	5,6	58,27	0,6	10	5,6	16
0,7	1,00	8	5,7	1,00	16	0,7	33,41	5,7	51,80	0,7	10	5,7	14
0,8	1,00	10	5,8	1,00	19	0,8	41,76	5,8	61,51	0,8	12	5,8	17
0,9	1,00	8	5,9	1,00	18	0,9	33,41	5,9	58,27	0,9	10	5,9	16
1	1,00	11	6,0	1,00	19	1	43,42	6,0	61,51	1	12	6	17
1,1	1,00	10				1,1	39,47			1,1	11		
1,2	1,00	8				1,2	31,58			1,2	9		
1,3	1,00	9				1,3	35,53			1,3	10		
1,4	1,00	9				1,4	35,53			1,4	10		
1,5	1,00	9				1,5	35,53			1,5	10		
1,6	1,00	10				1,6	39,47			1,6	11		
1,7	1,00	11				1,7	43,42			1,7	12		
1,8	1,00	10				1,8	39,47			1,8	11		
1,9	1,00	10				1,9	39,47			1,9	11		
2	1,00	9				2	33,68			2	10		
2,1	1,00	11				2,1	41,16			2,1	12		
2,2	1,00	17				2,2	63,62			2,2	17		
2,3	1,00	18				2,3	67,36			2,3	18		
2,4	1,00	12				2,4	44,91			2,4	13		
2,5	1,00	16				2,5	59,88			2,5	16		
2,6	1,00	17				2,6	63,62			2,6	17		
2,7	1,00	15				2,7	56,13			2,7	15		
2,8	1,00	16				2,8	59,88			2,8	16		
2,9	1,00	14				2,9	52,39			2,9	15		
3	1,00	16				3	56,92			3	16		
3,1	1,00	19				3,1	67,59			3,1	18		
3,2	1,00	17				3,2	60,47			3,2	17		
3,3	1,00	17				3,3	60,47			3,3	17		
3,4	1,00	15				3,4	53,36			3,4	15		
3,5	1,00	12				3,5	42,69			3,5	12		
3,6	1,00	9				3,6	32,02			3,6	9		
3,7	1,00	11				3,7	39,13			3,7	11		
3,8	1,00	10				3,8	35,57			3,8	10		
3,9	1,00	9				3,9	32,02			3,9	9		
4	1,00	8				4	27,12			4	8		
4,1	1,00	8				4,1	27,12			4,1	8		
4,2	1,00	8				4,2	27,12			4,2	8		
4,3	1,00	8				4,3	27,12			4,3	8		
4,4	1,00	9				4,4	30,51			4,4	9		
4,5	1,00	11				4,5	37,29			4,5	11		
4,6	1,00	14				4,6	47,46			4,6	13		
4,7	1,00	18				4,7	61,02			4,7	17		
4,8	1,00	21				4,8	71,19			4,8	19		
4,9	1,00	21				4,9	71,19			4,9	19		
5	1,00	22				5	71,22			5	19		



Prova n. :	<b>4</b>	Data:	<b>31/10/05</b>
Località :	<b>Tonfano (LU)</b>	riferimento:	<b>10tonfano4</b>
q.ta inizio (m) :	<b>p.c.</b>	quota falda d.p.c. (m) :	<b>-1,80</b>

profondità			ELABORAZIONE STATISTICA				valore assunto	coeff. riduz.
da m	a m		media	max.	min	s	Nspt	$\alpha$
0,00	0,40	N	4	5	3	0,82	5	1,00
		Rd	16,71	20,88	12,53	3,41		
0,40	2,10	N	9	11	7	1,21	11	1,00
		Rd	37,00	43,42	29,23	4,28		
2,10	3,40	N	16	19	12	1,80	16	1,00
		Rd	58,97	67,59	44,91	6,32		
3,40	4,50	N	9	12	8	1,43	10	1,00
		Rd	32,52	42,69	27,12	5,48		
4,50	6,00	N	18	22	14	2,53	16	1,00
		Rd	60,10	71,22	45,32	8,47		

PARAMETRI GEOTECNICI INDICATIVI										
profondità		ipotesi di terreni <b>granulari</b>					ipotesi di terreni <b>coesivi</b>			
da m	a m	N <sub>spt</sub>	stato di addensamento	Dr	$\varphi$	m <sub>v</sub>	N <sub>spt</sub>	stato di consistenza	c <sub>u</sub>	m <sub>v</sub>
0,00	0,40	5	poco addensato	20	26	0,0160	4	moderatamente consistente	0,24	0,0201
0,40	2,10	11	moderatamente addensato	37	29	0,0115	9	consistente	0,57	0,0095
2,10	3,40	16	moderatamente addensato	49	31	0,0089	14	consistente	0,92	0,0060
3,40	4,50	10	moderatamente addensato	34	28	0,0122	8	consistente	0,49	0,0107
4,50	6,00	16	moderatamente addensato	50	31	0,0088	14	consistente	0,94	0,0059

Legenda:

N = numero colpi/10 cm penetrometro; Rd = resistenza dinamica; N<sub>spt</sub> = numero colpi prova SPT ricavato da Rd ed N;  $\alpha$  = coefficiente di riduzione per attrito laterale; s = scarto quadratico medio. Dr = densità relativa (%);  $\varphi$  = angolo di attrito interno; m<sub>v</sub> = coefficiente di compressibilità volumetrica (cmq/Kg); c<sub>u</sub> = coesione non drenata (Kg/cmq).



**Prova Penetrometrica dinamica**

**1**

Diametro punta 51 mm angolo apicale 60°

Committente

Dott.ssa Vanessa Greco

Peso maglio 63.5 kg

località

Marina di Pietrasanta

Altezza di caduta 75 cm

Intervento

Nuovo edificio

Data

16/06/2015

Certificato n°

160615-2

**Parametri geotecnici**

Strumentazione impiegata - Penetrometro Pagani TG 63/200

Correl. SPT 1,5

Livello freatico (m) da p.c. -0,8

n fattore di cor. 0,5

Gamma 0,18

$\phi$

Cu kg/cm2

Camp.

N SPT\*

Depth

Sigma

Cn

N SPT

Dr%

1

2

3

4

a

b

c

Camp.	N SPT*	Depth	Sigma	Cn	N SPT	Dr%	1	2	3	4	a	b	c
		0											
2	3	0,2	0,04	1,99	6,0	23,23	40,0	37,3	34,2	31,44	0,8	0,6	0,4
3	4,5	0,4	0,07	1,99	9,0	32,37	40,7	38,2	35,2	32,67	1,1	0,9	0,6
4	6	0,6	0,11	1,99	12,0	39,70	41,3	39,0	36,1	33,66	1,5	1,2	0,8
4	6	0,8	0,14	1,99	12,0	39,70	41,3	39,0	36,1	33,66	1,5	1,2	0,8
4	6	1	0,18	1,99	12,0	39,70	41,3	39,0	36,1	33,66	1,5	1,2	0,8
3	4,5	1,2	0,22	1,99	9,0	32,37	40,7	38,2	35,2	32,67	1,1	0,9	0,6
4	6	1,4	0,25	1,99	12,0	39,70	41,3	39,0	36,1	33,66	1,5	1,2	0,8
4	6	1,6	0,29	1,86	11,2	37,96	41,1	38,8	35,9	33,42	1,4	1,1	0,8
5	7,5	1,8	0,32	1,76	13,2	42,25	41,5	39,2	36,4	34,00	1,7	1,3	0,9
6	9	2	0,36	1,67	15,0	45,62	41,7	39,6	36,7	34,46	1,9	1,5	1,0
7	10,5	2,2	0,40	1,59	16,7	48,34	41,9	39,8	37,1	34,83	2,1	1,7	1,1
7	10,5	2,4	0,43	1,52	16,0	47,24	41,8	39,7	36,9	34,68	2,0	1,6	1,1
4	6	2,6	0,47	1,46	8,8	31,83	40,7	38,2	35,2	32,60	1,1	0,9	0,6
5	7,5	2,8	0,50	1,41	10,6	36,50	41,0	38,7	35,7	33,23	1,3	1,1	0,7
5	7,5	3	0,54	1,36	10,2	35,62	41,0	38,6	35,6	33,11	1,3	1,0	0,7
4	6	3,2	0,58	1,32	7,9	29,35	40,5	37,9	34,9	32,26	1,0	0,8	0,5
4	6	3,4	0,61	1,28	7,7	28,65	40,4	37,9	34,8	32,17	1,0	0,8	0,5
4	6	3,6	0,65	1,24	7,5	27,99	40,4	37,8	34,7	32,08	0,9	0,8	0,5
4	6	3,8	0,68	1,21	7,3	27,38	40,4	37,7	34,6	32,00	0,9	0,7	0,5
5	7,5	4	0,72	1,18	8,8	32,02	40,7	38,2	35,2	32,62	1,1	0,9	0,6
5	7,5	4,2	0,76	1,15	8,6	31,43	40,7	38,1	35,1	32,54	1,1	0,9	0,6
4	6	4,4	0,79	1,12	6,7	25,76	40,2	37,6	34,5	31,78	0,9	0,7	0,5
5	7,5	4,6	0,83	1,10	8,2	30,33	40,6	38,0	35,0	32,40	1,0	0,8	0,6
6	9	4,8	0,86	1,08	9,7	34,28	40,9	38,4	35,4	32,93	1,2	1,0	0,7
6	9	5	0,90	1,05	9,5	33,77	40,8	38,4	35,4	32,86	1,2	1,0	0,6
7	10,5	5,2	0,94	1,03	10,9	37,19	41,1	38,7	35,8	33,32	1,4	1,1	0,7
5	7,5	5,4	0,97	1,01	7,6	28,46	40,4	37,8	34,8	32,14	1,0	0,8	0,5
6	9	5,6	1,01	1,00	9,0	32,37	40,7	38,2	35,2	32,67	1,1	0,9	0,6
6	9	5,8	1,04	0,98	8,8	31,94	40,7	38,2	35,2	32,61	1,1	0,9	0,6
6	9	6	1,08	0,96	8,7	31,52	40,7	38,2	35,1	32,56	1,1	0,9	0,6
6	9	6,2	1,12	0,95	8,5	31,13	40,6	38,1	35,1	32,50	1,1	0,9	0,6
6	9	6,4	1,15	0,93	8,4	30,75	40,6	38,1	35,0	32,45	1,1	0,9	0,6
8	12	6,6	1,19	0,92	11,0	37,56	41,1	38,8	35,8	33,37	1,4	1,1	0,7
7	10,5	6,8	1,22	0,90	9,5	33,78	40,8	38,4	35,4	32,86	1,2	1,0	0,6
8	12	7	1,26	0,89	10,7	36,81	41,1	38,7	35,7	33,27	1,4	1,1	0,7
6	9	7,2	1,30	0,88	7,9	29,35	40,5	37,9	34,9	32,26	1,0	0,8	0,5
6	9	7,4	1,33	0,87	7,8	29,03	40,5	37,9	34,8	32,22	1,0	0,8	0,5
7	10,5	7,6	1,37	0,85	9,0	32,40	40,7	38,2	35,2	32,67	1,1	0,9	0,6
10	15	7,8	1,40	0,84	12,7	41,20	41,4	39,1	36,2	33,86	1,6	1,3	0,9
10	15	8	1,44	0,83	12,5	40,87	41,4	39,1	36,2	33,82	1,6	1,3	0,9
10	15	8,2	1,48	0,82	12,3	40,55	41,3	39,1	36,2	33,77	1,6	1,3	0,8
9	13,5	8,4	1,51	0,81	11,0	37,49	41,1	38,7	35,8	33,36	1,4	1,1	0,7
10	15	8,6	1,55	0,80	12,1	39,93	41,3	39,0	36,1	33,69	1,5	1,2	0,8
8	12	8,8	1,58	0,79	9,5	33,90	40,8	38,4	35,4	32,88	1,2	1,0	0,6
10	15	9	1,62	0,79	11,8	39,33	41,2	38,9	36,0	33,61	1,5	1,2	0,8
11	16,5	9,2	1,66	0,78	12,8	41,54	41,4	39,2	36,3	33,91	1,6	1,3	0,9
10	15	9,4	1,69	0,77	11,5	38,77	41,2	38,9	36,0	33,53	1,5	1,2	0,8

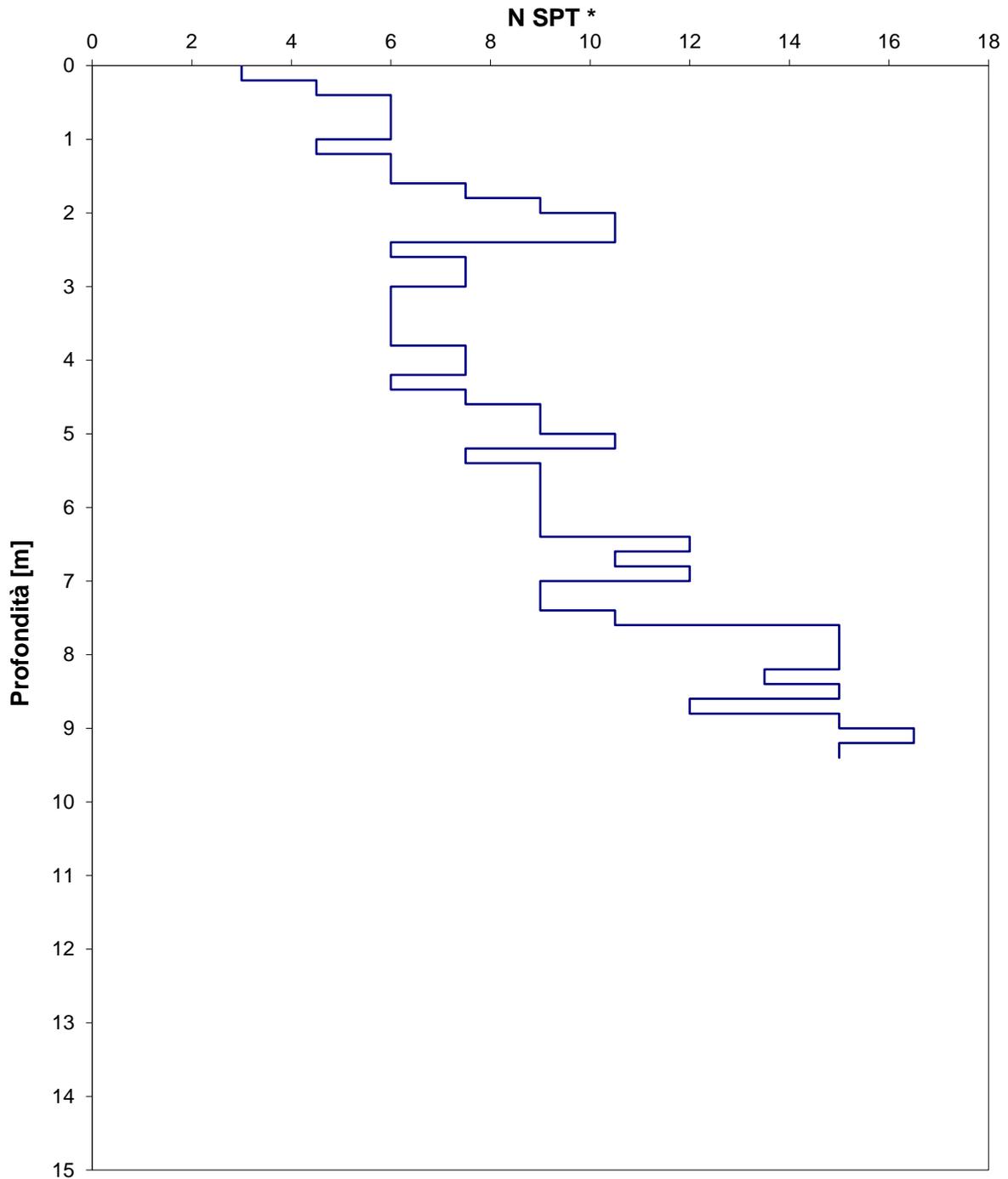


Alberto Iotti Geologo  
Tel - 0558397218 - 3485844183  
Località Castglioni 56 Rufina Firenze 50068  
e-mail albertoiotti@virgilio.it

## Prova Penetrometrica dinamica 1

Resistenza alla penetrazione [N spt] - Profondità [m]

Committente	Dott.ssa Vanessa Greco	Data	16/6/15
località	Marina di Pietrasanta	Certificato n°	160615-2
Intervento	Nuovo edificio		





**Prova Penetrometrica dinamica**

**2**

Diametro punta 51 mm angolo apicale 60°

Committente

Dott.ssa Vanessa Greco

Peso maglio 63.5 kg

località

Marina di Pietrasanta

Altezza di caduta 75 cm

Intervento

Nuovo edificio

Data

16/06/2015

Certificato n°

160615-3

**Parametri geotecnici**

Strumentazione impiegata - Penetrometro Pagani TG 63/200

Correl. SPT 1,5

Livello freatico (m) da p.c. -0,8

n fattore di cor. 0,5

Gamma 0,18

$\phi$

Cu kg/cm2

Camp.

N SPT\*

Depth

Sigma

Cn

N SPT

Dr%

1

2

3

4

a

b

c

Camp.	N SPT*	Depth	Sigma	Cn	N SPT	Dr%	1	2	3	4	a	b	c
		0											
3	4,5	0,2	0,04	1,99	9,0	32,37	40,7	38,2	35,2	32,67	1,1	0,9	0,6
3	4,5	0,4	0,07	1,99	9,0	32,37	40,7	38,2	35,2	32,67	1,1	0,9	0,6
2	3	0,6	0,11	1,99	6,0	23,23	40,0	37,3	34,2	31,44	0,8	0,6	0,4
2	3	0,8	0,14	1,99	6,0	23,23	40,0	37,3	34,2	31,44	0,8	0,6	0,4
1	1,5	1	0,18	1,99	3,0	12,10	39,2	36,2	32,9	29,93	0,4	0,3	0,2
1	1,5	1,2	0,22	1,99	3,0	12,10	39,2	36,2	32,9	29,93	0,4	0,3	0,2
0	0	1,4	0,25	1,99	0,0	0,00	38,3	35,0	31,5	28,30	0,0	0,0	0,0
1	1,5	1,6	0,29	1,86	2,8	11,32	39,1	36,1	32,8	29,83	0,4	0,3	0,2
2	3	1,8	0,32	1,76	5,3	20,79	39,9	37,1	33,9	31,11	0,7	0,5	0,4
3	4,5	2	0,36	1,67	7,5	28,13	40,4	37,8	34,7	32,10	1,0	0,8	0,5
4	6	2,2	0,40	1,59	9,5	33,90	40,8	38,4	35,4	32,88	1,2	1,0	0,6
3	4,5	2,4	0,43	1,52	6,8	26,09	40,3	37,6	34,5	31,82	0,9	0,7	0,5
2	3	2,6	0,47	1,46	4,4	17,56	39,6	36,8	33,5	30,67	0,6	0,4	0,3
2	3	2,8	0,50	1,41	4,2	16,96	39,6	36,7	33,5	30,59	0,5	0,4	0,3
5	7,5	3	0,54	1,36	10,2	35,62	41,0	38,6	35,6	33,11	1,3	1,0	0,7
2	3	3,2	0,58	1,32	4,0	15,92	39,5	36,6	33,3	30,45	0,5	0,4	0,3
3	4,5	3,4	0,61	1,28	5,8	22,47	40,0	37,2	34,1	31,33	0,7	0,6	0,4
2	3	3,6	0,65	1,24	3,7	15,05	39,4	36,5	33,2	30,33	0,5	0,4	0,3
3	4,5	3,8	0,68	1,21	5,4	21,39	39,9	37,1	34,0	31,19	0,7	0,6	0,4
4	6	4	0,72	1,18	7,1	26,81	40,3	37,7	34,6	31,92	0,9	0,7	0,5
5	7,5	4,2	0,76	1,15	8,6	31,43	40,7	38,1	35,1	32,54	1,1	0,9	0,6
4	6	4,4	0,79	1,12	6,7	25,76	40,2	37,6	34,5	31,78	0,9	0,7	0,5
5	7,5	4,6	0,83	1,10	8,2	30,33	40,6	38,0	35,0	32,40	1,0	0,8	0,6
5	7,5	4,8	0,86	1,08	8,1	29,83	40,5	38,0	34,9	32,33	1,0	0,8	0,5
6	9	5	0,90	1,05	9,5	33,77	40,8	38,4	35,4	32,86	1,2	1,0	0,6
6	9	5,2	0,94	1,03	9,3	33,28	40,8	38,3	35,3	32,79	1,2	0,9	0,6
4	6	5,4	0,97	1,01	6,1	23,60	40,1	37,4	34,2	31,49	0,8	0,6	0,4
4	6	5,6	1,01	1,00	6,0	23,23	40,0	37,3	34,2	31,44	0,8	0,6	0,4
4	6	5,8	1,04	0,98	5,9	22,88	40,0	37,3	34,1	31,39	0,7	0,6	0,4
4	6	6	1,08	0,96	5,8	22,54	40,0	37,3	34,1	31,34	0,7	0,6	0,4
7	10,5	6,2	1,12	0,95	9,9	34,94	40,9	38,5	35,5	33,02	1,3	1,0	0,7
5	7,5	6,4	1,15	0,93	7,0	26,54	40,3	37,7	34,6	31,88	0,9	0,7	0,5
6	9	6,6	1,19	0,92	8,3	30,38	40,6	38,0	35,0	32,40	1,0	0,8	0,6
7	10,5	6,8	1,22	0,90	9,5	33,78	40,8	38,4	35,4	32,86	1,2	1,0	0,6
5	7,5	7	1,26	0,89	6,7	25,57	40,2	37,6	34,4	31,75	0,8	0,7	0,5
7	10,5	7,2	1,30	0,88	9,2	33,07	40,8	38,3	35,3	32,76	1,2	0,9	0,6
7	10,5	7,4	1,33	0,87	9,1	32,73	40,8	38,3	35,3	32,72	1,2	0,9	0,6
9	13,5	7,6	1,37	0,85	11,5	38,79	41,2	38,9	36,0	33,54	1,5	1,2	0,8
8	12	7,8	1,40	0,84	10,1	35,42	41,0	38,5	35,6	33,08	1,3	1,0	0,7
10	15	8	1,44	0,83	12,5	40,87	41,4	39,1	36,2	33,82	1,6	1,3	0,9
9	13,5	8,2	1,48	0,82	11,1	37,80	41,1	38,8	35,8	33,40	1,4	1,1	0,8
11	16,5	8,4	1,51	0,81	13,4	42,73	41,5	39,3	36,4	34,07	1,7	1,4	0,9
10	15	8,6	1,55	0,80	12,1	39,93	41,3	39,0	36,1	33,69	1,5	1,2	0,8
9	13,5	8,8	1,58	0,79	10,7	36,89	41,1	38,7	35,7	33,28	1,4	1,1	0,7
8	12	9	1,62	0,79	9,4	33,62	40,8	38,4	35,4	32,84	1,2	1,0	0,6
10	15	9,2	1,66	0,78	11,7	39,05	41,2	38,9	36,0	33,57	1,5	1,2	0,8
9	13,5	9,4	1,69	0,77	10,4	36,05	41,0	38,6	35,6	33,17	1,3	1,1	0,7

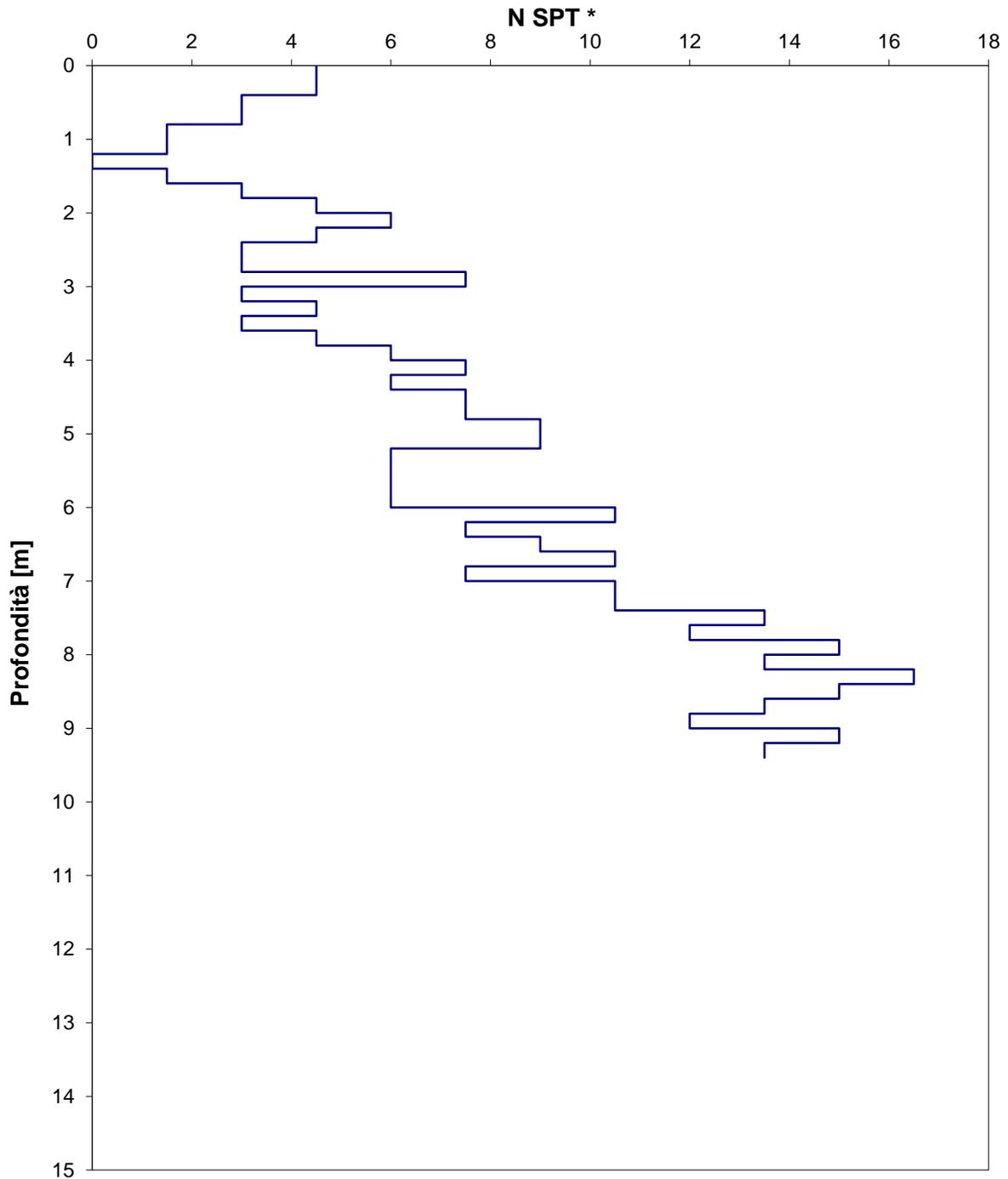


Alberto Iotti Geologo  
Tel - 0558397218 - 3485844183  
Località Castglioni 56 Rufina Firenze 50068  
e-mail albertoiotti@virgilio.it

## Prova Penetrometrica dinamica 2

Resistenza alla penetrazione [N spt] - Profondità [m]

Committente	Dott.ssa Vanessa Greco	Data	16/6/15
località	Marina di Pietrasanta	Certificato n°	160615-3
Intervento	Nuovo edificio		





Alberto Iotti Geologo

Tel - 0558397382 - 3485844183

Località Castglioni 56 Rufina Firenze 50068

e-mail albertoiotti@virgilio.it

### Prova Penetrometrica dinamica

**3**

Diametro punta 51 mm angolo apicale 60°

Committente

Dott.ssa Vanessa Greco

Peso maglio 63.5 kg

località

Marina di Pietrasanta

Altezza di caduta 75 cm

Intervento

Nuovo edificio

Data

16/06/2015

Certificato n°

160615-4

### Parametri geotecnici

Strumentazione impiegata - Penetrometro Pagani TG 63/200

Correl. SPT 1,5

Livello freatico (m) da p.c. -0,8

n fattore di cor. 0,5

Gamma 0,18

$\phi$

Cu kg/cm2

Camp.

N SPT\*

Depth

Sigma

Cn

N SPT

Dr%

1

2

3

4

a

b

c

0													
Camp.	N SPT*	Depth	Sigma	Cn	N SPT	Dr%	1	2	3	4	a	b	c
2	3	0,2	0,04	1,99	6,0	23,23	40,0	37,3	34,2	31,44	0,8	0,6	0,4
2	3	0,4	0,07	1,99	6,0	23,23	40,0	37,3	34,2	31,44	0,8	0,6	0,4
4	6	0,6	0,11	1,99	12,0	39,70	41,3	39,0	36,1	33,66	1,5	1,2	0,8
3	4,5	0,8	0,14	1,99	9,0	32,37	40,7	38,2	35,2	32,67	1,1	0,9	0,6
3	4,5	1	0,18	1,99	9,0	32,37	40,7	38,2	35,2	32,67	1,1	0,9	0,6
4	6	1,2	0,22	1,99	12,0	39,70	41,3	39,0	36,1	33,66	1,5	1,2	0,8
4	6	1,4	0,25	1,99	12,0	39,70	41,3	39,0	36,1	33,66	1,5	1,2	0,8
4	6	1,6	0,29	1,86	11,2	37,96	41,1	38,8	35,9	33,42	1,4	1,1	0,8
4	6	1,8	0,32	1,76	10,5	36,44	41,0	38,6	35,7	33,22	1,3	1,1	0,7
6	9	2	0,36	1,67	15,0	45,62	41,7	39,6	36,7	34,46	1,9	1,5	1,0
6	9	2,2	0,40	1,59	14,3	44,39	41,6	39,4	36,6	34,29	1,8	1,5	1,0
5	7,5	2,4	0,43	1,52	11,4	38,49	41,2	38,8	35,9	33,50	1,4	1,2	0,8
5	7,5	2,6	0,47	1,46	11,0	37,45	41,1	38,7	35,8	33,36	1,4	1,1	0,7
7	10,5	2,8	0,50	1,41	14,8	45,26	41,7	39,5	36,7	34,41	1,9	1,5	1,0
6	9	3	0,54	1,36	12,2	40,34	41,3	39,0	36,1	33,75	1,6	1,2	0,8
6	9	3,2	0,58	1,32	11,9	39,49	41,3	38,9	36,0	33,63	1,5	1,2	0,8
5	7,5	3,4	0,61	1,28	9,6	34,04	40,9	38,4	35,4	32,89	1,2	1,0	0,7
5	7,5	3,6	0,65	1,24	9,3	33,32	40,8	38,3	35,3	32,80	1,2	1,0	0,6
5	7,5	3,8	0,68	1,21	9,1	32,65	40,7	38,3	35,3	32,71	1,2	0,9	0,6
7	10,5	4	0,72	1,18	12,4	40,61	41,3	39,1	36,2	33,78	1,6	1,3	0,8
7	10,5	4,2	0,76	1,15	12,1	39,97	41,3	39,0	36,1	33,70	1,5	1,2	0,8
7	10,5	4,4	0,79	1,12	11,8	39,36	41,3	38,9	36,0	33,61	1,5	1,2	0,8
6	9	4,6	0,83	1,10	9,9	34,82	40,9	38,5	35,5	33,00	1,3	1,0	0,7
4	6	4,8	0,86	1,08	6,5	24,83	40,2	37,5	34,4	31,65	0,8	0,7	0,4
4	6	5	0,90	1,05	6,3	24,40	40,1	37,4	34,3	31,59	0,8	0,6	0,4
5	7,5	5,2	0,94	1,03	7,8	28,89	40,5	37,9	34,8	32,20	1,0	0,8	0,5
4	6	5,4	0,97	1,01	6,1	23,60	40,1	37,4	34,2	31,49	0,8	0,6	0,4
6	9	5,6	1,01	1,00	9,0	32,37	40,7	38,2	35,2	32,67	1,1	0,9	0,6
4	6	5,8	1,04	0,98	5,9	22,88	40,0	37,3	34,1	31,39	0,7	0,6	0,4
4	6	6	1,08	0,96	5,8	22,54	40,0	37,3	34,1	31,34	0,7	0,6	0,4
5	7,5	6,2	1,12	0,95	7,1	26,89	40,3	37,7	34,6	31,93	0,9	0,7	0,5
6	9	6,4	1,15	0,93	8,4	30,75	40,6	38,1	35,0	32,45	1,1	0,9	0,6
6	9	6,6	1,19	0,92	8,3	30,38	40,6	38,0	35,0	32,40	1,0	0,8	0,6
5	7,5	6,8	1,22	0,90	6,8	25,88	40,2	37,6	34,5	31,79	0,9	0,7	0,5
7	10,5	7	1,26	0,89	9,4	33,42	40,8	38,3	35,3	32,81	1,2	1,0	0,6
7	10,5	7,2	1,30	0,88	9,2	33,07	40,8	38,3	35,3	32,76	1,2	0,9	0,6
8	12	7,4	1,33	0,87	10,4	36,09	41,0	38,6	35,7	33,17	1,3	1,1	0,7
6	9	7,6	1,37	0,85	7,7	28,72	40,5	37,9	34,8	32,18	1,0	0,8	0,5
7	10,5	7,8	1,40	0,84	8,9	32,08	40,7	38,2	35,2	32,63	1,1	0,9	0,6
8	12	8	1,44	0,83	10,0	35,10	40,9	38,5	35,5	33,04	1,3	1,0	0,7
8	12	8,2	1,48	0,82	9,9	34,79	40,9	38,5	35,5	33,00	1,3	1,0	0,7
7	10,5	8,4	1,51	0,81	8,5	31,18	40,6	38,1	35,1	32,51	1,1	0,9	0,6
7	10,5	8,6	1,55	0,80	8,4	30,90	40,6	38,1	35,1	32,47	1,1	0,9	0,6
6	9	8,8	1,58	0,79	7,2	27,06	40,3	37,7	34,6	31,95	0,9	0,7	0,5
6	9	9	1,62	0,79	7,1	26,81	40,3	37,7	34,6	31,92	0,9	0,7	0,5
7	10,5	9,2	1,66	0,78	8,2	30,09	40,6	38,0	35,0	32,36	1,0	0,8	0,6
7	10,5	9,4	1,69	0,77	8,1	29,84	40,5	38,0	34,9	32,33	1,0	0,8	0,5



Alberto Iotti Geologo  
Tel - 0558397218 - 3485844183  
Località Castglioni 56 Rufina Firenze 50068  
e-mail albertoiotti@virgilio.it

## Prova Penetrometrica dinamica 3

Resistenza alla penetrazione [N spt] - Profondità [m]

Committente	Dott.ssa Vanessa Greco	Data	16/6/15
località	Marina di Pietrasanta	Certificato n°	160615-4
Intervento	Nuovo edificio		

