

# COMUNE DI PIETRASANTA

Provincia di Lucca

Direzione Servizi del Territorio

U.O. Urbanistica e Grandi Opere

Attività Produttive, Sviluppo Economico e Politiche del Lavoro

U.O. Sportello Unico delle Imprese

---

## Piano di Utilizzazione degli Arenili (P.U.A.) in Variante al Piano Particolareggiato degli Arenili

ai sensi dell'Art. 40 commi 2-7 L.R. 5/95 e  
successive modifiche ed integrazioni

### RELAZIONE GEOLOGICA

#### Allegato W

Il Sindaco

MASSIMO MALLEGNI

L'Assessore all'Urbanistica

MARCO MARCHI

L'Assessore al Turismo ed alle Attività Produttive

LUCIANO SOMMARIVA

Il Dirigente Direzione Servizi del Territorio

U.O. Urbanistica e Grandi Opere

Arch. DANTE GALLI

Progetto Urbanistica e Coordinamento Generale

Arch. DANTE GALLI

Collaboratori

Geom. GIULIANO GUICCIARDI

Arch. PIERPAOLO BALDINI

Arch. BARBARA FARINA

Geom. ALESSANDRA GENOVESI

Funz. Amm. GIOVANNA MANZIONE

Rilievi e Progetto Grafico

Geom. ANDREA BERTOLINI

Geom. ILARIA FANCELLO

Geom. ILARIA NATUCCI

Tavola modificata a seguito approvazione del C.C. 42 del 28/07/2003

**dott. geologo Francesco Ceccarelli**

Applicazioni e Consulenze Geologiche



Remote Sensing & GIS

Piazza Mercurio 5, 54100 Massa  
P. Iva 00684340458

Tel./Fax 0585810126  
Cell. 3282154742  
E-Mail [fcgeo@tiscalinet.it](mailto:fcgeo@tiscalinet.it)

---

## **COMUNE DI PIETRASANTA**

Variante al Piano particolareggiato degli Arenili

**Pietrasanta, dicembre 2001**

---



## SOMMARIO

PREMESSA .....	3
METODOLOGIA .....	3
CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E GEOMORFOLOGICHE GENERALI .....	4
INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO ED IDRAULICO .....	4
ANALISI DELLA VARIAZIONE DEI LIMITI DI COSTA .....	5
IL CUNEO SALINO .....	6
ANALISI LITOTECNICO E GEOTECNICA .....	8
IPOTESI CAPACITÀ PORTANTE .....	10
VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI .....	11
VALUTAZIONE DELL'AMPLIFICAZIONE SISMICA E DELLA LIQUEFAZIONE .....	13
ELABORATI DI SINTESI: CARTA DELLA PERICOLOSITÀ, CARTA DELLA FATTIBILITÀ E PRESCRIZIONI TECNICHE .....	18

## ALLEGATI

Allegato 1 – Stralcio carte Diacroniche della Regione Toscana (scala 1:10000)

Allegato 2 – Stralcio carte PTC Provincia di Lucca (Tav. A1 – Carta della fragilità geomorfologica)

Allegato 3 – Stralcio carte PTC Provincia di Lucca (Tav. A2 – Carta della fragilità idraulica)

Allegato 4 – Stralcio carte PTC Provincia di Lucca (Tav. A3 – Carta degli ambiti di salvaguardia dei corsi d'acqua)

Allegato 5 – Stralcio carte PTC Provincia di Lucca (Tav. A4 – Carta della fragilità degli acquiferi)

Allegato 6 – Stralcio carta isofreatiche estive e primaverili (Studio Prof. G. Pranzini)

Allegato 7 – Stralcio carta isoconduttive estive e primaverili (Studio Prof. G. Pranzini)



TAVOLE (scala 1: 5000)

Tavola 1 - Carta Geologica Geomorfologica con sezioni geologiche

Tavola 2 - Carta Idrogeologica ed Idraulica

Tavola 3 - Carta Litotecnica con ubicazione sondaggi e sezioni geotecniche

Tavola 4 - Carta della Pericolosità

Tavola 5 - Carta della Fattibilità



## PREMESSA

La seguente relazione è redatta su incarico dell'Amministrazione del Comune di Pietrasanta al fine di valutare le classi di fattibilità delle aree interessate dalla Variante al Piano particolareggiato degli Arenili.

Lo studio è stato condotto in ottemperanza della legislazione vigente (Delibera C.R. 94 del 1985, L.R. 5/95 e successive modifiche, L.R. 21/84, al D.M. LL. PP. del 11/03/88, D.C.R. 230/94 e D.C.R. 12/2000).

## METODOLOGIA

Al fine di valutare le classi di Fattibilità si è seguito il seguente processo di lavoro:

- ⇒ raccolta di dati bibliografici sull'area;
- ⇒ valutazione accurata delle cartografie ed elaborazioni geologico tecniche precedenti;
- ⇒ inquadramento geologico, geomorfologico e idrogeologico;
- ⇒ indagini in sito comprendenti rilevamento geologico e prove geognostiche in situ;
- ⇒ redazione della relazione geologico-tecnica;
- ⇒ realizzazione delle carte di pericolosità e di fattibilità.

Saranno descritte e studiate le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e idrauliche, sarà effettuata una parametrizzazione geotecnica dei terreni e verranno valutate le diverse condizioni di rischio sia per le opere di progetto previste dalla variante, che le modificazioni che tali nuove opere potranno apportare al sistema costiero nel suo insieme.



## CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E GEOMORFOLOGICHE GENERALI

La piana Versiliese è una pianura di coni di deiezione olocenici verosimilmente poggiati a loro volta su una successione di coni di deiezione pleistocenici dei quali non si conosce il fondo ma una sommaria divisione in più cicli come suggerito dalle perforazioni eseguite nella bassa Versilia.

I cicli evidenziati sono relativi alle sei fasi Wurmiane alternate in fasi continentali e marine, a queste fa seguito la fase olocenica con lo sviluppo della trasgressione versiliana che si è spinta sino a modellare una falesia sui coni di deiezione al limite occidentale dell'alta Versilia e in corrispondenza dell'area di Massaciuccoli. Questo episodio di massima trasgressione marina ha corrisposto con la fase atlantica dell'Olocene culminata circa 5000 anni fa.

In seguito in area marina è emerso un cordone litoraneo che ha separato il mare aperto da una successione di aree umide interne verosimilmente in un primo tempo lagunari e in seguito lacustri e/o palustri.

Il massimo sviluppo areale della bassa Versilia si è avuto tuttavia dopo la formazione di questo lido, in gran parte in epoca post-romana, e deve la sua progressione all'incremento dell'apporto solido dei corsi d'acqua in specie a quello dei fiumi maggiori: Magra, Serchio ed Arno.

Geologicamente la fascia costiera risulta costituita da alluvioni formate da ghiaie e ciottoli derivanti dai rilievi retrostanti e formanti i conoidi di deiezione suddetti, che per la bassa pendenza e la forte antropizzazione risultano di difficile individuazione, spostandoci verso mare si passa a sabbie costiere con locali livelli di limo. Tali sabbie risultano rimaneggiate per azione essenzialmente eolica.

Lungo la fascia costiera, come detto, si ha un cordone costituente una duna costiera (tomboli) che si eleva di circa 2 m sulla retrostante piana.

## INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO ED IDRAULICO

La permeabilità è la proprietà che hanno le rocce di lasciarsi attraversare dall'acqua quando questa è sottoposta ad un certo carico idraulico. Essa, quindi, esprime l'attitudine che ha la roccia a fare defluire l'acqua sotterranea.



In natura si distinguono schematicamente rocce permeabili e rocce impermeabili. Le rocce permeabili sono a loro volta distinte in permeabili per porosità, ovvero vi è presenza di numerose cavità tra loro comunicanti, e permeabili per fessurazione.

I depositi costituenti il conoide di deiezione e la sottostante piana costiera sono costituiti da ghiaie a vario grado di cementazione fino a conglomerati per la conoide e sabbie con locali livelli limosi per la piana, nelle quali è impostata una importante circolazione idrica sotterranea che ha la sua naturale scarica direttamente in mare.

I rilievi montani costituiscono comunque una importante ricarica della falda costiera.

Il tratto di litorale oggetto del presente studio è interessato dalla presenza dei tratti terminali del Fosso Fiumetto e del Fosso Motrone.

#### ANALISI DELLA VARIAZIONE DEI LIMITI DI COSTA

Il tratto di costa in studio risulta in avanzamento secondo i dati pubblicati nell'Atlante diacronico delle coste toscane pubblicato dalla Regione Toscana in scala 1:10000.

Nei 30 anni compresi tra il 1954 e la fine degli anni '80 si è registrato un aumento medio della spiaggia di circa 50 metri, contrario all'andamento medio della zona, che soprattutto a Nord risulta in forte erosione.

La spiaggia della pianura Apuo-Versiliese sta subendo un processo di forte erosione dovuto alle conseguenze di alcuni interventi operati dall'uomo: in primo luogo la notevole diminuzione degli apporti sedimentari del Fiume Magra, soggetto per anni ad escavazioni continue del proprio alveo, e l'ampliamento dei due porti di Marina di Carrara e di Viareggio. La presenza delle strutture portuali, infatti, rappresenta una barriera all'alimentazione naturale delle sabbie provenienti dal Fiume Magra, per la zona litorale fino al Cinquale, e dai Fiumi Serchio ed Arno, per il tratto a sud di tale località. Questa sorta di interferenza causa fenomeni di forte erosione in alcuni tratti e di avanzamento in altri, come ad esempio la spiaggia che si estende a sud di Vittoria Apuana fino alle Focette.

Dal recente Workshop tenutosi a Forte dei Marmi nel Settembre 2001 è emerso che il tratto di costa prospiciente il Comune di Pietrasanta non è interessato da processi erosivi.



In generale, il livello freatico è molto superficiale e può talora arrivare al livello del piano di campagna. Il tetto della falda varia in base alle oscillazioni stagionali e vista l'elevata permeabilità dei terreni anche in occasione di importanti eventi meteorici.

Nella tavola 2 sono riportati gli ambiti B relativi al fosso Fiumetto e al torrente Baccatoio (fosso di Motrone), ottenuti considerando la distanza di 300 metri dal piede esterno dell'argine e/o della sponda.

Per i possibili fenomeni alluvionali si rimanda ai numerosi studi effettuati e al piano della Regione Toscana (P.A.I.) attualmente oggetto di osservazioni. Si potrà constatare come il rischio alluvioni sia moderatamente limitato.

## IL CUNEO SALINO

Per un maggiore dettaglio, sulle varianti apportate con il seguente piano, si rimanda alle note e agli articoli della "Variante al Piano Particolareggiato degli Arenili".

Gli interventi edilizi previsti dalla Variante in oggetto riguardano l'area riconosciuta come edificabile all'interno dell'arenile. In particolare è prevista una percentuale edificabile del 40% rispetto al precedente 30%, oltre a diverse opere di risistemazione e riqualificazione dei servizi e dell'arredo.

L'aumento delle superfici edificate nonché l'adeguamento dei servizi igienici alle norme del Piano, potrebbero comportare un conseguente maggior fabbisogno idrico e maggiori scarichi. Il maggior fabbisogno idrico può venire in parte alleviato mediante un maggior emungimento dai pozzi, di cui molti stabilimenti balneari sono dotati. Un maggiore emungimento causa una risalita dell'interfaccia acqua dolce – acqua salata.

Il cuneo salino è in equilibrio con la falda di acque dolci, e si spinge sin al di sotto dell'area retrodunale, e da studi di Musetti, 1986, risulta che le aree comprese tra Vittoria Apuana e Marina di Pietrasanta, e l'area all'intorno del fosso di Motrone, presentano di già delle situazioni critiche.

Ricordiamo che le cause dell'ingressione del cuneo salino sono da ricercarsi nelle bonifiche di fine ottocento (avvenute per colmata e per pompaggio), inoltre sono stati "imbrigliati" molti corsi d'acqua impedendo l'alluvionamento naturale, ed infine l'intensa antropizzazione





che ha come conseguenza una diminuzione delle superfici permeabili, legato ad un maggior emungimento dei pozzi sia per necessità irrigue che civili.

Uno studio approfondito sul bacino idrogeologico della Versilia è stato commissionato dalla Regione Toscana al Prof. Geol. G. Pranzini. La ricerca è stata estesa a tutta la Pianura Apuo-Versiliense e ha permesso di ricostruire la superficie freatica, la dinamica e le variazioni del livello della falda. Tra i diversi risultati raggiunti nel lavoro suddetto vi sono anche le possibili cause della salinizzazione delle acque freatiche.

Si rimanda allo “Studio Idrogeologico del bacino regionale della Versilia, rapporto intermedio” del Prof. Pranzini per una più approfondita e completa valutazione degli studi e delle conclusioni raggiunte.

Per quanto riguarda la presente relazione ci limiteremo a riportare le conclusioni più significative relativamente all'arenile del Comune di Pietrasanta: la variazione dell'isofreatica subisce delle oscillazioni stagionali dell'ordine di 1,5 metri, strettamente correlate alla piovosità. Per quanto concerne la salinizzazione dell'acquifero, soprattutto per le aree costiere lo studio del Prof. Pranzini evidenzia un aumento della conducibilità elettrica, che per esempio nell'area delle Focette raggiunge, in un intervallo di 16 anni, un valore di +1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

E' dunque dimostrata una salinizzazione delle acque di falda, le cause sono individuate: nella intrusione di acqua dal mare nella falda libera contenuta nelle sabbie della fascia costiera, nell'ingresso dell'acqua di mare nei canali di bonifica e nelle foci dei corsi d'acqua, nel drenaggio di acqua salmastra connata nei depositi marini della pianura e infine nell'inquinamento di origine antropica.

Nella fascia costiera incide soprattutto il primo processo descritto, la situazione risulta aggravata sia dallo sfruttamento della falda nelle sabbie che nella minore alimentazione di quest'ultime.

Gli emungimenti sono concentrati nel periodo estivo da parte dei pozzi ad uso domestico-turistico: la conseguenza è l'abbassamento del livello freatico e la conseguente risalita dell'interfaccia acqua dolce-acqua salata, con aumento della salinità anche al di sopra dell'interfaccia stessa. La scarsa ricarica è dovuta invece all'aumento delle superfici



impermeabilizzate (parcheggi, strade etc...) ed al fatto che una maggiore percentuale di acqua viene convogliata nella rete fognaria.

In sintesi, la falda freatica ha subito negli ultimi 10–15 anni un modesto peggioramento riferibile più alla salinità dell'acqua che all'abbassamento della superficie freatica. Pertanto (come evidenziato dal Prof. Pranzini) la situazione generale non presenta casi di gravità tale da richiedere interventi immediati.

Per migliorare la falda freatica nelle sabbie della fascia costiera vengono consigliati: aumento delle aree di infiltrazione dell'acqua piovana che rappresenta la sola fonte di ricarica della falda, la gestione delle acque superficiali nelle aree di bonifica, nelle quali l'acqua di falda risulta nettamente più salata che nelle altre zone.

A seguito delle considerazioni suddette si suggerisce una particolare attenzione da porre sia in fase di progettazione che di realizzazione delle opere previste, alle interazioni dell'opera con la falda acquifera ed il cuneo salino; in particolare si ritiene opportuno non realizzare opere di scavo vicine contemporaneamente, limitare le portate emunte allo stretto necessario, prevedere possibili ricariche etc.

In allegato si riportano stralci delle carte delle isofreatiche e della conducibilità elettrica dello studio del Prof. Pranzini.

## ANALISI LITOTECNICO E GEOTECNICA

Nell'area sono state eseguite sei prove penetrometriche mediante l'utilizzo del penetrometro dinamico DL–30. Per le caratteristiche tecniche del penetrometro si rimanda agli allegati.

Dall'esame preliminare dell'area si è ritenuto opportuno posizionare i sondaggi in tre sub-aree identificate rispettivamente nella zona foce di Fiumetto, zona Tonfano e foce di Motrone.

I sondaggi nelle zone foce di Fiumetto e foce di Motrone sono stati condotti sino alla profondità di 9 metri dal piano di campagna, mentre i sondaggi zona Tonfano sono stati prolungati fino a 11 metri dal piano di campagna.

I sondaggi eseguiti nell'ambito di questo studio, oltre a fornire una ricostruzione dettagliata dell'area degli arenili, sono serviti alla parametrizzazione delle costanti geotecniche



principali, alla valutazione della capacità portante, alla successiva valutazione dei cedimenti e dei fenomeni di amplificazione sismica e di liquefazione.

Dalle conoscenze acquisite sull'area è stato possibile individuare le seguenti stratigrafie tipo, che potranno essere viste in dettaglio nei certificati allegati:

#### Zona foce di Fiumetto

- ❖ dal p.c. a 3 m: sabbie poco addensate;
- ❖ da 3 a 8 m: sabbie mediamente addensate;
- ❖ da 8 a 9 m: sabbie molto addensate.

#### Zona Tonfano (falda profondità media 1,25 m d.p.c.)

- ❖ dal p.c. a 0,5 m: sabbie poco addensate;
- ❖ da 0,5 a 7,5 m: sabbie mediamente addensate;
- ❖ da 7,5 a 11 m: sabbie molto addensate.

#### Zona foce di Motrone (falda profondità media 1,4 m d.p.c.)

- ❖ dal p.c. a 3 m: sabbie poco addensate;
- ❖ da 3 a 7 sabbie mediamente addensate;
- ❖ da 7 a 9 m: sabbie mediamente addensate con aumento crescente di addensamento con la profondità.

La successione descritta appartiene a una tipica sequenza di sabbie di duna costiera.

I parametri geotecnici dei litotipi presenti, sono schematizzati negli allegati riportati. Per riassumere:

PARAMETRI FISICO-MECCANICI	SABBIE SCIOLTE	SABBIE ADDENSATE
$\varphi$ (°)	20 - 26	30-38
c (Kg/Cm <sup>2</sup> )	0	0
$\gamma$ (Kg/Cm <sup>3</sup> )	1750-1900	1900-2100



Con  $\gamma$ ,  $c$  e  $\varphi$  si indicano rispettivamente il peso volume o peso specifico apparente, la coesione e l'angolo di attrito interno.

#### IPOTESI CAPACITÀ PORTANTE

Il calcolo della capacità portante è stato ottenuto tramite l'utilizzo della formula di Terzaghi.

La formula di Terzaghi ha la seguente forma:

$$Q_{lim} = c \times N_c \times s_c + \gamma_1 \times D \times N_q + 0.5 \times \gamma_2 \times B \times N_y \times s_y;$$

in cui:

$N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_y$  = fattori adimensionali di portanza legati rispettivamente al contributo di terreni con coesione, al terreno posto sopra al piano di posa della fondazione e agli strati di coesione nulla;

Terzaghi per questi fattori propone le seguenti relazioni:

$$N_q = a^2 / [2 \times \cos^2(45 + \text{Phi}/2)]$$

$$\text{dove } a = \exp[(0.75 \times \text{Pi} - \text{Phi}/2) \times \text{tg}(\text{Phi})];$$

$$N_c = (N_q - 1) \times \text{cotg}(\text{Phi})$$

$$N_y = [\text{tg}(\text{Phi})/2] \times [(K_p/\cos^2(\text{Phi})) - 1]$$

dove:  $K_p$ =fattore di portanza proposto da Terzaghi, approssimabile con la seguente relazione:

$$K_p = A_0 + A_1 \times \text{Phi} + A_2 \times \text{Phi}^2 + A_3 \times \text{Phi}^3 + A_4 \times \text{Phi}^4;$$

in cui:

$A_0$ ,  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ ,  $A_4$  = fattori del polinomio interpolatore.



(si tenga presente però che lo stesso Terzaghi consiglia di utilizzare il valore di  $N_y$  ricavato da Meyerhof);

$c$  = coesione del terreno;

$y_1$  = peso di volume medio del terreno sopra il piano di posa;

$y_2$  = peso di volume sotto il piano di posa;

$B$  = larghezza della fondazione (dimensione del lato corto);

$D$  = profondità di posa della fondazione;

$s_c, s_y$  = fattori di forma dati da:

$s_c = 1.0$  per fondazioni nastriformi;

$s_c = 1.3$  per fondazioni quadrate;

$s_y = 1.0$  per fondazioni nastriformi;

$s_y = 0.8$  per fondazioni quadrate.

La formula di Terzaghi fornisce generalmente valori di portanza sovrastimati tranne nel caso di terreni coesivi sovraconsolidati; deve essere utilizzata solo per fondazioni molto superficiali, dove cioè sia verificata la disuguaglianza:

$$D < B.$$

Il valore così ottenuto, nell'ipotesi di una fondazione quadrata di 5 metri di lato, con piano di posa a 0.5 metri di profondità in un terreno dalla stratigrafia come sopra descritta, e adottando un coefficiente di sicurezza pari a 3, risulta maggiore di 1 Kg/cm<sup>2</sup>.

Negli allegati sono riportati gli elaborati del calcolo.

#### VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI

La previsione del cedimento di una fondazione è un problema particolare di calcolo della deformazione del terreno, indotta da una variazione del suo stato tensionale efficace.



Il fenomeno del cedimento dipende oltre che dal carico, anche dalla estensione dell'opera ed è tanto più difficilmente valutabile quanto più, per la particolare natura del terreno, l'assestamento di questo è differito nel tempo.

In definitiva il cedimento può essere definito come effetto di una variazione tensionale del terreno di fondazione, prodotto dal mutare delle condizioni al contorno.

I metodi impiegati per la valutazione dei cedimenti sono molteplici, caratteristica comune ai vari metodi è la valutazione qualitativa causa la complessità delle interazioni terreno struttura e alle approssimazioni proprie della meccanica delle terre.

Il Metodo utilizzato per il calcolo dei cedimenti è quello di Schmertmann(1970). Tale metodo è stato ideato per calcolare il cedimento immediato e secondario di terreni incoerenti utilizzando direttamente i dati delle prove penetrometriche statiche (CPT).

Ha la seguente espressione:

$$Stot = C1 \times C2 \times Q \times DH \times \text{sommatoria}(Iz/E);$$

in cui:

Q=carico netto applicato sulla fondazione;

C1=fattore correttivo per tener conto dell'approfondimento della fondazione:  $C1 = 1 - 0.5 \times (P/Q)$ ;

dove P=Pressione efficace al piano di posa della fondazione;

C2=fattore correttivo per tener conto del cedimento secondario:  $C2 = 1 + 0.21 \times \text{Log} ( T/0.1)$ ;

dove:

T=tempo di calcolo del cedimento in anni;

DH=spessore dello strato;

E=modulo di deformazione dello strato; i valori di E consigliati da Schmertmann sono i seguenti:

$E=2 \times Rp$  (sabbie fini e limo);



$E=3.5 \times R_p$  (sabbie medie);

$E=5 \times R_p$  (sabbia grossolana);

$E=6 \times R_p$  (sabbia e ghiaia);

con  $R_p$ =resistenza alla punta media dello strato;

$I_z$ =fattore d'influenza per tener conto della diffusione del carico netto applicato sulla fondazione nel terreno; ha una distribuzione di tipo triangolare che dipende dalla geometria della fondazione:

fondazioni nastriformi:  $I_z=0.2$  per  $z=0$  -  $I_z=0.5$  per  $z=B$  -  $I_z=0$  per  $z=4 \times B$ ;

fondazioni quadrate:  $I_z=0.1$  per  $z=0$  -  $I_z=0.5$  per  $z=B/2$  -  $I_z=0$  per  $z=2 \times B$ ;

fondazioni rettangolari: si risolvono i due casi precedenti e si prende un valore interpolato.

Il procedimento di Schmertmann fornisce risultati attendibili purchè si utilizzino i valori di  $E$  proposti dall'Autore e venga impiegato per fondazioni rigide. Il cedimento calcolato va visto come il massimo cedimento teorico prevedibile in funzione del carico netto applicato.

Come si deduce dagli elaborati i cedimenti massimi ipotizzabili sono dell'ordine del centimetro.

#### VALUTAZIONE DELL'AMPLIFICAZIONE SISMICA E DELLA LIQUEFAZIONE

Tramite le prove penetrometriche è possibile valutare la possibilità di liquefazione delle sabbie. Uno dei metodi più utilizzati è quello di Tokimatsu (1988) derivato dai lavori di Seed e Idriss (1982), che tiene conto della magnitudo del sisma, dello sforzo ciclico normalizzato e del numero dei colpi  $N$ .

Tramite l'utilizzo dei relativi grafici si evince che per una sollecitazione sismica ( $\tau_{av}/\sigma_0$  dove  $\tau_{av} = \gamma a_{max}/gr$ , con  $\gamma$  accelerazione di gravità,  $g$  peso di volume naturale del terreno,  $r$  fattore riduttivo con la profondità (tabellato), ed  $a_{max}$  accelerazione massima orizzontale del terreno) maggiore di 0,1-0,2 possono generarsi fenomeni di liquefazione. Tale fenomeno nel caso di una giacitura orizzontale causa un assestamento del terreno.

Esistono in letteratura molte formule empiriche che consentono di correlare il valore di  $N_{spt}$  (numero di colpi per 30 cm di avanzamento) con la velocità delle onde  $S$  nel terreno. Nel



programma viene utilizzata la relazione di Otha e Goto (1978), consigliata dal Manuale internazionale TC4 per la zonazione dei rischi geotecnici. La formula, che tiene conto sia dell'età del deposito che della sua granulometria dominante, ha la seguente espressione:

$$V_s (m/s) = 68 N_{spt}^{0.17} D^{0.2} EF$$

dove D(m) è la profondità media dello strato dal piano campagna, E è un fattore che tiene conto dell'età del deposito (Tabella I) e F è un coefficiente funzione della granulometria dominante dello strato (Tabella II).

Tabella I

Età del deposito	Fattore E
Olocene	1.0
Pleistocene	1.3

Tabella II

Granulometria dominante	Coefficiente F
Argilla	1.00
Sabbia fine	1.09
Sabbia media	1.07
Sabbia grossa	1.14
Sabbia ghiaiosa	1.15
Ghiaia	1.45

Per la stima della velocità delle onde S nel substrato, in mancanza di dati più precisi, come quelli derivanti dalla sismica a rifrazione, un'indicazione può essere ottenuta dalla seguente tabella:

Litologia	Range Vp(m/s)
Calcere	3400 - 5000
Arenaria	2000 - 4500
Dolomia	5000 - 6000
Argillite	2400 - 5000
Anidrite	3500 - 5500
Salgemma	4000 - 5500
Morena	1500 - 2600





Alluvioni	300 - 1700
Metamorfiti di basso grado	3000 - 5000
Metamorfiti di alto grado	5000 - 7000
Rocce granitoidi e Gneiss	4000 - 6000
Basalti	5500 - 6300
Gabbri	6400 - 6800
Rocce ultrafemiche	7500 - 8400

La tabella fornisce la velocità delle onde P, dalla quale può essere ricavata la  $V_s$  utilizzando la relazione:

$$V_s (m/s) = V_p \sqrt{\frac{1-2\sigma}{2-2\sigma}}$$

dove  $\sigma$  è il coefficiente di Poisson dello strato, mediamente uguale a 0.25 nelle rocce e 0.35 nei terreni sciolti. I valori più bassi per ogni litotipo si riferiscono al caso di maggiore fratturazione o minore addensamento.

Per il calcolo della amplificazione sismica si è utilizzato il metodo di Medvedev (1960).

E' una procedura di calcolo derivante da correlazioni empiriche determinate da Medvedev sulla base di registrazioni di eventi sismici in ambiti geologici differenti. Nella sua impostazione originaria, il metodo è applicabile solo in aree pianeggianti e tiene conto nella risposta sismica dell'influenza dei soli fattori litologia e idrogeologia.

Fondamentale in questo metodo è la definizione della grandezza impedenza sismica ( o rigidità sismica), data dal prodotto:

$$R(t/mqs) = \gamma V_s$$

con

$\gamma$  (t/mc) = peso di volume del materiale;

$V_s$  (m/s) = velocità delle onde S nel materiale.



Assunto come livello di riferimento il substrato roccioso o, se assente, un livello con  $V_s > 700$  m/s (bedrock-like), l'incremento d'intensità sismica che si produce al passaggio dell'impulso sismico da questo livello alla superficie, passando attraverso terreno di copertura è dato da:

$$n_1 = 1.67 \ln \frac{R}{R'}$$

con

$R'$  = impedenza sismica del terreno di copertura;

$R$  = impedenza sismica del bedrock.

Nel caso di terreno di copertura stratificato il termine  $R'$  sarà dato dalla media pesata delle impedenze sismiche dei singoli strati:

$$R' = \frac{\sum_{i=1}^n \gamma_i H_i}{H_{tot}}$$

con

$n$  = numero di strati presenti nella copertura;

$\gamma_i$  (t/mc) = peso di volume dello strato  $i$ -esimo;

$H_i$  (m) = spessore dello strato  $i$ -esimo;

$H_{tot}$  (m) = spessore totale della copertura.

La presenza di falde idriche può portare secondo Medvedev ad un ulteriore incremento d'intensità, secondo la relazione:

$$n_2 = e^{-0.04H^2}$$

con

$e$  = numero di Nepero;

$H$  (m) = profondità dal piano campagna della falda più superficiale;



In formulazioni più recenti però, per tener conto della possibile presenza di falde artesiane o sospese, la relazione è stata così modificata:

$$n_2 = e^{-0.04H^2} - e^{-0.04B^2}$$

con

B (m) = profondità dal piano campagna della base dello strato acquifero;

Alcuni Autori hanno proposto di introdurre nella relazione classica di Medvedev due ulteriori fattori, che tengano conto della morfologia del sito e della geometria del substrato:

$$n_3 = 1 + \text{Log}_{10}(1 + \text{sen } \beta)$$

$$n_4 = 1 + \text{Log}_{10}(1 + \text{sen } \alpha)$$

con

$\beta$  = inclinazione media del pendio;

$\alpha$  = inclinazione media del substrato di riferimento ( $\alpha=90^\circ$  in presenza di una faglia).

Il fattore di amplificazione sismica è quindi fornito dalla relazione:

$$F_a = [1 + \text{Log}_{10}(n_3 + n_4)](n_3 n_4)$$

ed il valore dell'accelerazione di picco in superficie è dato dalla:

$$a_{\max}(g) = a_{\text{bedrock}} F_a$$

dove  $a_{\text{bedrock}}$  è l'accelerazione sismica nel bedrock.

Si ritiene comunque che la validità dei fattori  $n_3$  e  $n_4$  non sia ancora stata comprovata a sufficienza da dati sperimentali e quindi si suggerisce di usarli con cautela.

Gli elaborati in allegato riassumono i valori ottenuti dai calcoli eseguiti.



## ELABORATI DI SINTESI: CARTA DELLA PERICOLOSITÀ, CARTA DELLA FATTIBILITÀ E PRESCRIZIONI TECNICHE

La carta della Pericolosità è la sintesi degli elaborati di base previsti dal D.C.R. 94/85, rivisti dal P.T.C. della Provincia di Lucca. Il presente studio si avvale delle conoscenze acquisite da precedenti analisi effettuate sul territorio ai fini della pianificazione e/o degli studi realizzati da università e C.N.R..

In particolare (come già descritto nei paragrafi precedenti) è stato fatto riferimento agli studi del dott. geol. R. Zia (Variante Generale al P.R.G.C., 1986), studio INGEO (Variante Generale al P.R.G.C., 1997), del prof. G. Pranzini (Studio Idrogeologico del Bacino Regionale della Versilia, 2000/2001).

Con la presente relazione vengono riprodotte una carta geologica dell'area scala 1:5000 (tavola 1), una carta idrogeologica idraulica e del reticolo idrografico scala 1:5000 (tavola 2) e una carta litotecnica con ubicazione dei sondaggi geognostici eseguiti scala 1:5000 (tavola 3). Sono riportati inoltre stralci delle carte delle isofreatiche e delle isoconduttive del Prof. Pranzini, stralci delle carte diacroniche delle coste toscane dell'Atlante pubblicato dalla Regione Toscana in scala 1:10000 e particolari delle carte del P.T.C. della Provincia di Lucca.

L'area risulta fortemente antropizzata, le dune tipiche di una morfologia costiera a spiagge sono state obliterate dall'azione dell'uomo nel tempo. Unica testimonianza della presenza delle dune in questa zona si riscontra nelle variazioni di quota a monte di viale Roma (presenza di un "cordone" litoraneo con quote altimetriche maggiori di circa 1.5 metri rispetto alla piana retrostante).

A fronte delle conoscenze ottenute è stato possibile valutare il grado di pericolosità, come riportato in carta.

Dall'analisi degli elaborati allegati al P.T.C. è stato possibile verificare quanto segue:

- ❖ carta della fragilità geomorfologica: l'area non ricade in alcuna delle tipologie identificate;
- ❖ carta della fragilità idraulica: l'area tra il fosso Fiumetto e circa via Tolmino è indicata come area vulnerata da esondazioni, con intensità E1 (altezza d'acqua massima conosciuta 0-20 cm) e con frequenza occasionale (> 50 anni) di esondazione;



- ❖ carta della fragilità dell'acquifero: la zona viene identificata come area ad elevata vulnerabilità intrinseca potenziale per alta/elevata permeabilità primaria; l'acquifero risulta inoltre "area vulnerata da fenomeni di insalinamento dell'acquifero superiore";
- ❖ carta degli ambiti di salvaguardia dei corsi d'acqua: i corsi d'acqua ricadenti nella zona di studio (fosso Fiumetto e torrente Baccatoio) sono dotati di ambito B ( ex. D.C.R.T. 230/94).

Come si nota dalle cartografie allegate parte dell'area di variante ricade all'interno degli ambiti B del Fosso Fiumetto e del Torrente Baccatoio. In tali aree vanno applicate le salvaguardie come previsto dal Titolo VII-Misure di salvaguardia del P.I.T..

Le carte del B.T.N. P.A.I. tengono la zona degli arenili fuori dalle aree a rischio idraulico elevato e molto elevato, quindi i tratti di corso prospicienti tali aree risultano verificate per Tr 30 anni e 200 anni. La verifica al tempo di ritorno duecentennale esclude le aree oggetto di variante dalle misure di salvaguardia previste dal D.C.R. n° 12 del 25 gennaio 2000.

Le aree ricadenti nel piano degli arenili presentano una pericolosità di classe 3 (*pericolosità media*).

Dalle disposizioni generali dal P.T.C. della provincia di Lucca si riconosce per l'area un grado di esposizione *medio*.

La pericolosità geologica-geomorfologica è identificata nel grado 2g, cui corrisponde una fattibilità 2g, una pericolosità per amplificazione da fenomeni sismici 3t cui corrisponde una fattibilità 3t ed una pericolosità idraulica 3ai, corrispondente ad una fattibilità idraulica 3i.

Le aree immediatamente prospicienti il fosso Fiumetto ed il torrente Baccatoio (10 m dall'argine) sono state inserite in classe di fattibilità 4i in quanto risultano a rischio idraulico maggiore.

Nelle aree a fattibilità 3 (tre) i progetti dovranno essere corredati da relazione geologica e geotecnica di dettaglio che verifichi la capacità portante dei terreni mediante indagini geognostiche appropriate, valutazione dei cedimenti, individuazione del livello di falda, valutazione dei fenomeni di liquefazione e di amplificazione sismica, oltre ad una attenta analisi geologica, geomorfologica ed idraulica dell'area.

Nelle aree a fattibilità limitata (classe 4, quattro), che equivale a rischio elevato, gli interventi dovranno essere corredati da relazione geologica e geotecnica di dettaglio che verifichi la capacità



*dott. geologo Francesco Ceccarelli*

Piazza Mercurio 5, 54100 Massa - tel. 0585810126 (3282154742) - [fcgeo@tiscalinet.it](mailto:fcgeo@tiscalinet.it)

---

portante dei terreni mediante indagini geognostiche appropriate, valutazione dei cedimenti, valutazione dei fenomeni di liquefazione e di amplificazione sismica, individuazione del livello di falda, oltre a un'attenta analisi geologica, geomorfologica ed idraulica dell'area, nonché indicazione sugli interventi di consolidamento, bonifica e miglioramento dei terreni.

Massa, gennaio 2002-01-21

geol. francesco ceccarelli