

# RELAZIONE GEOLOGICA



## COMUNE DI VECCHIANO PIANO STRUTTURALE

maggio 2025

**Sindaco:**

Massimiliano Angori

**Dirigente:**

Manuela Riccomini

**Responsabile del Procedimento:**

Simona Coli

**Gruppo di lavoro interno:**

Oriana Carrano

Federico Carbognani

Federico Carmignani

Daniel Del Carlo

Katiussica Fruzzetti

Anita Giannarelli

Gabriele Leone

Maurizio Marchetti

Alessio Tramonti

**Progettazione:**

Studio Associato di Urbanistica e Architettura

Gianni Maffei Cardellini, Alberto Montemagni

**Collaborazioni specialistiche di supporto:**

**Supporto progetto urbanistico:** Dario Franchini

**Studi geologici:** Studio GS - Geologia Sostenibile, Roberto Balatri

**Studi idrologici idraulici:** Società Hydrogeo Ingegneria srl, Giacomo Gazzini

**Studi agronomici:** Enrico Bonari

**Valutazione Ambientale Strategica:** Elisabetta Norci

**Garante dell'Informazione e Partecipazione:** Luigi Josi

**Supporto alla partecipazione:** Sociolab S.c.a.r.l.- Impresa Social

**Supporto amministrativo:** Francesca Falconi – Claudia Strusi



**GS Studio**  
**GEOLOGIA SOSTENIBILE**  
Roberto Balatri  
Via Due Settembre 21 Pisa

Dott. Geol. Alessandra Buscemi

## INDICE

<b>1 – PREMESSA.....</b>	<b>5</b>
<b>2 – INTRODUZIONE.....</b>	<b>7</b>
<b>2.1 - RIFERIMENTI NORMATIVI.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2 - CARATTERISTICHE GEOLOGICHE, MORFOLOGICHE ED IDROGEOLOGICHE.....</b>	<b>10</b>
<b>3 - L'AREA COLLINARE</b>	
<b>3.1 - CARATTERISTI GEOMORFOLOGICHE.....</b>	<b>12</b>
<b>4 - LA PIANURA.....</b>	<b>17</b>
<b>4.1 - LA GOLENA DEL SERCHIO.....</b>	<b>17</b>
<b>4.2 - LA BONIFICA.....</b>	<b>17</b>
<b>4.3 - L'ARENILE.....</b>	<b>18</b>
<b>4.4 - LA GEOLOGIA DELLA PIANURA.....</b>	<b>19</b>
<b>5 - CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE DEL TERRITORIO COMUNALE.....</b>	<b>21</b>
<b>5.1 - LA VULNERABILITA' INTRINSECA DELL'AREA COLLINARE .....</b>	<b>21</b>
<b>5.2 - LA VULNERABILITA' INTRINSECA DELLA PIANURA.....</b>	<b>23</b>
<b>5.3 - AREE DI SALVAGUARDIA ACQUEDOTTISTICA.....</b>	<b>24</b>
<b>6 - ASPETTI SISMICI.....</b>	<b>26</b>
<b>6.1 - STUDI SISMICI .....</b>	<b>27</b>
<b>7 - LA SUBSIDENZA.....</b>	<b>29</b>
<b>7.1 - RICOSTRUZIONE STORICA DEI DISEQUILIBRI INDOTTI DALLO</b>	
<b>SOVRASFRUTTAMENTO DELLA FALDA IDRICA.....</b>	<b>30</b>
Abitato di Filettolo .....	30
Abitato di Vecchiano .....	33
<b>8 - LA PERICOLOSITA' GEOLOGICA DEL TERRITORIO.....</b>	<b>37</b>
<b>9 - LA PERICOLOSITA' SISMICA DEL TERRITORIO.....</b>	<b>38</b>
<b>10 - DOCUMENTAZIONE CARTOGRAFICA PRESENTATA.....</b>	<b>39</b>
<b>CARTA GEOLOGICA (GEO.01).....</b>	<b>40</b>
<b>CARTA GEOMORFOLOGICA (GEO.02).....</b>	<b>41</b>
<b>CARTA DELLE AREE DEPRESSE (GEO.03).....</b>	<b>42</b>
<b>CARTA DELLA VULNERABILITA' IDROGEOLOGICA E AREE DI SALVAGUARDIA (GEO.04)....</b>	<b>43</b>
<b>CARTA DELLE DEFORMAZIONI DEL TERRENO (interferometria satellitare) (GEO.05).....</b>	<b>44</b>
<b>CARTA DELLE INDAGINI E DEI DATI DI BASE (GEO.06).....</b>	<b>45</b>
<b>CARTA DEI CONOIDI DI MELTON (GEO.07).....</b>	<b>46</b>
<b>CARTA DELLE PENDENZE (GEO.08).....</b>	<b>48</b>

<b>CARTA DELL'INDICE POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (GEO.09).....</b>	<b>48</b>
<b>CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEI DEPOSITI (GEO.10).....</b>	<b>49</b>
<b>CARTA GEOLOGICO-TECNICA (CGT) (GEO.11) .....</b>	<b>50</b>
<b>SEZIONI GEOLOGICO-TECNICHE (GEO.11 sezioni).....</b>	<b>52</b>
<b>CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS) (GEO.12).....</b>	<b>54</b>
<b>CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA (GEO.13).....</b>	<b>55</b>
<b>CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA (GEO.14).....</b>	<b>57</b>

## 1 - PREMESSA

Il territorio del comune di Vecchiano è il risultato di un eterno conflitto tra terra ed acqua, che da tempi geologici si ripresenta continuamente.

Un territorio strappato al mare dai depositi eolici di duna che hanno originato una ampia laguna che si estendeva lungo tutta la costa pisana e versiliese, dai cordoni dunali alla base collinare e che i depositi fluviali hanno progressivamente e parzialmente colmato dando origine ad ampie aree lacustri e palustri.

Un territorio dove le esondazioni del fiume Serchio hanno dato origine alle pianure alluvionali "pensili", che si sviluppano lungo tutto il corso del Serchio.

Un conflitto nel quale, in epoca recente, si è inserito anche l'uomo, che con le sue opere di bonifica ha trasformato le aree palustri in terre fertili e con la costruzione di arginature ha tentato di imbrigliare il corso del fiume Serchio, con risultati non sempre definitivi e che continuano a esporre il territorio comunale ad elevati rischi idraulici, anche alla luce dei sempre più incalzanti mutamenti climatici. Un territorio fragile che in un futuro non troppo remoto dovrà fare i conti anche con l'innalzamento del livello marino.

Un territorio circondato da acqua: fiume, lago, mare e idrogeologicamente contenente acqua anche al suo interno. Se si eccettua la parte collinare sopra l'abitato di Filettoli, il resto del sottosuolo è sede di acquiferi, dei quali i principali, l'acquifero della falda carbonatica e quello delle ghiaie del fiume Serchio, alimentano oltre che l'acquedotto idropotabile locale anche quelli di Pisa e Livorno. Il connubio: mare, dune, lame, lago, fiume, bonifica, colline, carsismo, rende il territorio straordinariamente ricco di biodiversità e al tempo stesso estremamente fragile.

Un territorio che in un recente passato è stato aggredito da un'attività estrattiva incontrollata e selvaggia, che ha lasciato profonde ferite ancora aperte con elevato degrado geofisico.

La fase distensiva dell'Appennino toscano, iniziata nel Miocene superiore, ha portato alla formazione di bacini di sprofondamento tettonico, che con diversi cicli marini a partire dal Pleistocene inferiore, hanno formato successioni sedimentarie di oltre duemila metri per quelli più occidentali. Gli spessori dei sedimenti nella piana alluvionale di Vecchiano risultano superiori ai 1.400 mt. La geologia della pianura alluvionale di Vecchiano, dove la trasgressione versiliana si è spinta sino al piede occidentale dei Monti d'Oltre Serchio, è ben rappresentata dalla sottostante sezione geologica, passante per Viareggio (Mazzanti et al., 1990).

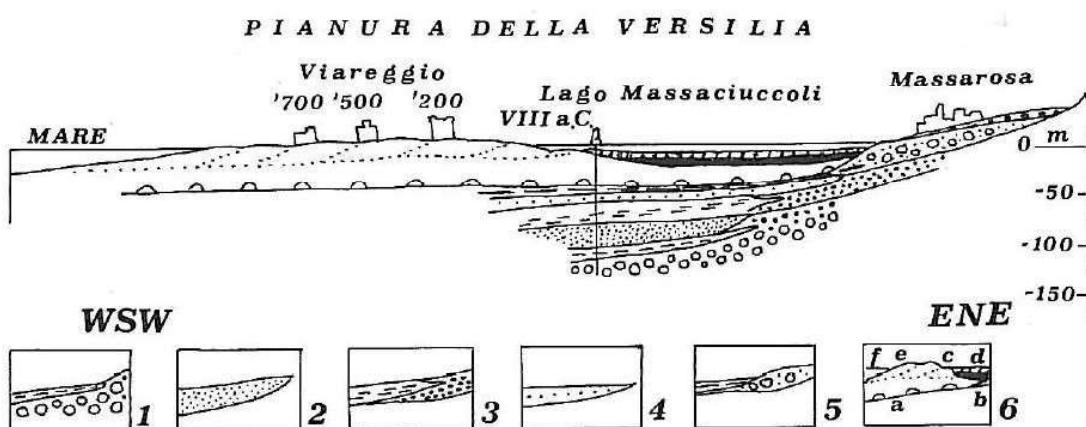


Fig. 8 - Sezione geologica (non in scala) tra Viareggio e Massarosa

1 - Depositi del Würm I. 2 - Depositi dell'interstadio Würm I-II. 3 - Depositi del Würm II. 4 - Depositi dell'interstadio Würm II-III. 5 - Depositi del Würm III (18.000 anni fa). 6 - Depositi olocenici (a-trasgressione versiliana, b-cono di deiezione, c-lido frequentato dal VIII secolo a.C., d-torbe del Lago di Massaciuccoli; e-depositi di spiaggia; f-mare).

L'inquadramento geologico del territorio segue l'impostazione urbanistico paesaggistica che prevede l'area comunale suddivisa in 4 UTOE.

UTOE 1 della PIANURA COSTIERA DEL PARCO NATURALE

La parte più ad ovest è costituita dalla spiaggia attuale, che si presenta in fasi alterne di avanzamento e di sostanziale equilibrio grazie all'apporto delle piene del fiume Serchio e ad una quasi totale integrità dei cordoni dunali litoranei. Verso l'interno si sviluppa, sino a raggiungere l'autostrada A12, un importante sistema costituito da alternanze di dune e lame, spesso sedi di paleoalvei del Serchio e che presenta un buon grado di integrità. Tale sistema è sede di una falda freatica dunale che alimenta il lago con acqua di buona qualità e il suo non sfruttamento offre un valido ostacolo all'ingressione del cuneo salino.

#### UTOE 2 della PIANURA ALLUVIONALE

Si estende a sud del lago di Massaciuccoli tra l'autostrada A12 e il fosso del Gorello e corrisponde alle aree bonificate, in precedenza già occupate dal lago e dalle aree palustri. Terreni per lo più costituiti da depositi torbosi e argille organiche, sui quali gli oltre 100 anni di attività di bonifica hanno generato fenomeni di subsidenza molto spinta, che hanno portato, nell'area più depressa, ad un abbassamento medio dei terreni di circa 3,5 cm annui. Le parti più depresse risultano abbassatesi di oltre 3,5 metri.

Area a criticità molto elevata, dove gli attuali impianti idrovori hanno raggiunto il limite fisico di emungimento per il mantenimento del franco di bonifica, tant'è che alcune parti della bonifica risultano non più coltivabili e che a una velocità di abbassamento dei terreni di 3,5 cm annui, nel giro di un decennio le aree non coltivabili diverranno ben più estese.

Si ritiene pertanto giunto il momento di effettuare una profonda riflessione sul mantenimento dell'attuale stato della bonifica, anche sulla base dei mutamenti climatici e dello stato di salute del Lago di Massaciuccoli; in sintesi prevenire prima di essere travolti dagli eventi. Pertanto ripensare al tipo di agricoltura da praticare nella bonifica futura, dove dovranno essere previsti anche spazi per la fitodepurazione e l'accumulo di acque di riserva per il lago nei periodi siccitosi.

#### UTOE 3 della PIANURA DEL SERCHIO

Corrisponde alla pianura storicamente coltivata, quella che si estendeva tra il fiume e le aree palustri e tra il fiume e i rilievi collinari. Pianura dove si è insediato il sistema urbano policentrico (Migliarino, Nodica, Vecchiano, Avane e Filettole).

Geologicamente è caratterizzata prevalentemente da depositi fini di tipo limo argillosi e limi argillo sabbiosi, che nella fascia fluviale tra l'abitato di Migliarino e quello di Nodica e lungo la golena sono sostituiti da sabbie limo argillose. Tali sedimenti solcati da resti di numerosi paleoalvei del Serchio ricoprono ampi livelli di ghiaie che si riscontrano a partire dai 25-26 dal p.d.c. nella zona di Filettole e che man mano si approfondiscono lungo il percorso del Serchio, sino a ritrovarsi alla profondità di circa 45 m nell'abitato di Migliarino. Tali livelli di ghiaie hanno continuità anche sotto l'area della bonifica, dove ospitano una falda artesiana e probabilmente sono presenti anche sotto i cordoni dunali sino al mare.

#### UTOE 4 delle AREE COLLINARI

La geologia dell'area collinare è essenzialmente divisibile in due aree: quella meridionale, che si estende sino poco più a nord di via di Radicata, costituita da rocce calcaree e quella più a nord, attorno all'abitato di Filettole, costituita dall'arenaria del Macigno e in parte da depositi del Dominio Ligure, quali Argille a palombini e Variegata.

Nella zona carbonatica, sono concentrate le aree ad alto degrado geofisico, testimonianza di una ex attività estrattiva dismessa ed abbandonata. Mentre nella parte collinare nord si concentrano i fenomeni di dissesto attivo, che in parte interessano anche lo stesso edificato della frazione di Filettole.

## 2 - INTRODUZIONE

Con l'approvazione della Legge Regionale n. 65/2014 e la successiva approvazione, nel mese di marzo 2015, dell'Integrazione Paesaggistica al Piano di Indirizzo Territoriale si è aperta in Regione Toscana una nuova fase di pianificazione territoriale ed urbanistica che, naturale evoluzione degli obiettivi contenuti nelle precedenti leggi (L.R. 5/95 e L.R. 1/2005), basa i suoi fondamenti su due principali linee di indirizzo rappresentate da un lato dal contenimento del consumo di suolo, e dall'altro dalla necessità di "omologazione" della politica pianificatoria di competenza dei vari enti territoriali, comuni, province e/o città metropolitana, ad una visione unitaria del paesaggio regionale e delle sue varie componenti, codificata fin da monte nelle sue interpretazioni conoscitive e relative declinazioni statutarie da un unico piano sovraordinato costituito appunto dal Piano Paesaggistico Regionale.

Il Comune di Vecchiano attualmente è dotato degli strumenti urbanistici comunali redatti ai sensi della ex L.R. 1/2005:

- Piano Strutturale (P.S.) approvato con Del. CC n. 25 del 18/06/2007, divenuto efficace con pubblicazione del relativo avviso di approvazione sul BURT n. 34 del 22/08/2007
- Regolamento Urbanistico Comunale (R.U.) approvato con Del. CC n. 70 del 21/12/2011, divenuto efficace con pubblicazione del relativo avviso di approvazione sul BURT n. 19 del 09/05/2012.

Con Delibera di Consiglio Comunale n. 59 del 26 novembre 2019 è stato approvato l'avvio del procedimento per la formazione del Nuovo Piano Strutturale e del Piano Operativo del Comune di Vecchiano.

Il Comune di Vecchiano intende procedere alla stesura del nuovo piano strutturale in conformità al D.P.G.R. 30 gennaio 2020, n. 5/R ed alle relative "Direttive tecniche per lo svolgimento delle indagini geologiche, idrauliche e sismiche" (Delibera GRT n. 31/2020 - Allegato A), in combinato con la L.R.65/2014 e la L.R.41/2018:

Lo svolgimento dell'incarico si è sviluppato a partire dal reperimento delle indagini preliminari:

- Acquisizione dati geofisici e geotecnici e di altro tipo disponibili negli Strumenti Urbanistici Comunali e nelle pratiche edilizie presentate.
- Acquisizione delle indagini inserite nella banca dati regionali del sottosuolo.
- Acquisizione dei dati di sismica a riflessione del progetto ViDEPI.
- Acquisizione dati del DB ISPRA per pozzi e sondaggi profondi.
- Acquisizione dati del DB ISPRA ITHACA faglie capaci.
- Acquisizione dati DB Provincia di Pisa.
- Acquisizione dati Catalogo Frane IFFI.
- Acquisizione dati Geoportale Nazionale ISPRA.
- Quadro conoscitivo proveniente dagli strumenti sovraordinati quale il piano Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI) del Fiume Serchio e del Piano di Gestione del Rischio da alluvioni (PGRA) dell'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale.
- Studi idraulici del reticolo idraulico minore.

A partire da queste conoscenze si sono sviluppate una serie di indagini suppletive, necessarie a definire la natura sismo-stratigrafica delle unità presenti, dei relativi spessori delle coperture maggiori di 30 metri e delle caratteristiche geofisiche dei materiali presenti.

Tali indagini sono state già eseguite in funzione della realizzazione dello studio di Microzonazione Simica di livello 1, in fase di completamento.

A partire da queste conoscenze il presente studio è stato finalizzato all'aggiornamento del quadro delle Pericolosità Geologiche, Idrauliche e Sismiche al variato quadro conoscitivo e alle normative vigenti, nonché alla definizione delle future condizioni di fattibilità delle previsioni urbanistiche che verranno inserite nel POC.

Lo studio è stato condotto in ottemperanza del DPGR 5R 2020 “Regolamento di attuazione dell’articolo 104 della legge regionale 10 novembre 2014” e nel rispetto delle norme dei PAI dell’Autorità di Bacino del Fiume Arno, del PGRA, e della D.C.R.T. n.72 del 24/07/07 di approvazione del nuovo Piano di Indirizzo Territoriale (P.I.T.) della Regione Toscana.

Tutte le cartografie sono state prodotte sia in formato cartaceo che in forma digitale tramite la tecnologia GIS, utilizzando la simbologia prevista dagli “Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica” redatti dal DPC (versione 4.2 – Dicembre 2020). Il sistema di riferimento adottato sarà “WGS\_1984\_UTM\_Zona\_32N”.

Le tavole in PDF, prodotte in un unico foglio o dove necessario i due fogli, est ed ovest, sono state realizzate in scala 1:10.000.

Elaborati realizzati:

Sigla Elaborato	Titolo	N° fogli	Scala
GEO.00	Relazione tecnica illustrativa		
	<b>QUADRO CONOSCITIVO</b>		
GEO.01	Carta geologica	2	1:10.000
GEO.02	Carta geomorfologica	2	1:10.000
GEO.03	Carta delle aree deppresse	1	1:10.000
GEO.04	Carta vulnerabilità idrogeologica e aree di salvaguardia	2	1:10.000
GEO.05	Carta delle deformazioni del terreno (interferometria satellitare)	2	1:10.000
GEO.06	Carta delle indagini e dei dati di base	2	1:10.000
GEO.07	Carta dei conoidi di Melton	1	1:10.000
GEO.08	Carta delle pendenze	1	1:10.000
GEO.09	Carta dell’Indice Potenziale di Liquefazione	2	1:10.000
GEO.10	Carta delle frequenze naturali dei depositi	1	1:10.000
GEO.11	Carta geologico-tecnica	1	
GEO.11 sezioni	Sezioni geotecniche	1	1:10.000
GEO.12	Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPPS)	1	
	<b>STATUTO</b>		
GEO.13	Carta della Pericolosità Geologica		1:10.000
GEO.14	Carta della Pericolosità sismica locale		1:10.000

## RIFERIMENTI NORMATIVI

Il Piano Strutturale del comune di Vecchiano è stato redatto ai sensi della vigente normativa in materia geologica, idraulica e sismica, in combinato alla L.R. 65/2014.

Nella suddetta normativa sono ricomprese:

### ***Disposizioni generali***

- Regolamento 5/R del 30 gennaio 2020 (approvato con Del. GRT n. 29 del 20.01.2020) *“Regolamento di attuazione dell’articolo 104 della legge regionale 10 novembre 2014, n. 65 (Norme per il governo del territorio) contenente disposizioni in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche”*
- Del. GRT n. 31 del 20 gennaio 2020 - “Direttive tecniche per lo svolgimento delle indagini geologiche, idrauliche e sismiche”
- Decreto Dirigenziale – Reg. Toscana 03 aprile 2020, n.4961 *“Approvazione modulistica ai sensi del comma 2 dell’art.16 del D.P.G.R. 30-01-2020 n.5/R”*
- Decreto Dirigenziale – Reg. Toscana 10 aprile 2017, n.4505 *“Approvazione delle “Specifiche tecniche per la strutturazione, la codifica e l’acquisizione in formato digitale delle cartografie della Banca Dati Geomorfologica della Regione Toscana”*

### ***Disposizioni in materia sismica***

- Ordinanza del Presidente Consiglio dei ministri 20 marzo 2003, n. 3274 *“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”*
- Decreto del Ministero delle infrastrutture 17 gennaio 2018 - *“Norme tecniche per le costruzioni”*
- Ordinanza del Presidente Consiglio dei ministri 28 aprile 2006 n. 3519 *“Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l’aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”*
- Del. G.R.T n. 878 dell’ 8 ottobre 2012 e succ. e Del. G.R.T n. 421 del 26 maggio 2014, relative all’ *“Aggiornamento della classificazione sismica del territorio regionale in attuazione dell’o.d.p.c.m.3519/2006 ed ai sensi del d.m. 17 gennaio 2018”*
- Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 21 gennaio 2019 n. 7 C.S.LL.PP. *“Istruzioni per l’applicazione dell’aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”*
- Decreto dirigenziale 5 ottobre 2007, n.4753 *“Approvazione versione aggiornata del manuale delle istruzioni tecniche regionali del programma VEL”*
- Del G.R.T. n. 1162 del 22 ottobre 2018 (Allegato A) *“L.77/2009 - “Fondo Nazionale per la Prevenzione del Rischio Sismico – OCDPC 532/2018 – Ripartizione tra interventi di prevenzione sismica su edifici pubblici e su edifici privati della quota assegnata alla Regione Toscana. Approvazione delle nuove specifiche tecniche per la realizzazione di studi di Microzonizzazione sismica ed Analisi CLE”*

### ***Disposizioni in materia geologica***

- P.A.I. del Distretto Appennino Settentrionale Stralcio *“Assetto Idrogeologico del distretto idrografico dell’Appennino settentrionale per la gestione del rischio da dissesti di natura geomorfologica”* (P.A.I. dissesti)) – adottato definitivamente con delibera n. 39 del 28 marzo 2024 e con delibera n. 40 del 28 marzo 2024 le relative misure di salvaguardia, entrate in vigore con la pubblicazione nella Gazzetta Ufficiale n. 82 del 8 aprile 2024.
- L.R. 25 marzo 2015, n°35 e s.m.i. - *“Disposizioni in materia di cave”*
- Regolamento 72/R del 16 novembre 2015 (approvato con Del GRT n. 1038 del 03/11/2015) - *Regolamento di attuazione dell’articolo 5 della legge regionale 25 marzo 2015 ,n. 35 (Disposizioni in materia di cave. Modifiche*

*alla l.r. 104/1995 l.r. 65/1997 l.r. 78/1998, l.r. 10/2010 e l.r. 65/2014) in materia di allegati tecnici annessi al progetto definitivo e di controlli*

#### ***Disposizioni in materia idraulica*** (a cura dei redattori dello studio idraulico)

- L.R. 24 luglio 2018, n.41 e ss.mm.ii. "Disposizioni in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del decreto legislativo 23 febbraio 2010, n.49 (Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni). Modifiche alla l.r. 80/2015 e alla l.r. 65/2014"
- L.R. 27 dicembre 2012, n. 79 aggiornamenti del DCR 20/2019
- Piano di Gestione del rischio di Alluvioni (P.G.R.A.) del Distretto Appennino Settentrionale approvato con DPCM 27 ottobre 2016 (pubblicato in G.U. n.28 del 3 febbraio 2017)
- Piano di Gestione delle Acque del Distretto Appennino Settentrionale approvato con DPCM 27 ottobre 2016 (pubblicato in G.U. n. 25 del 31 gennaio 2017)

#### **CARATTERISTICHE GEOLOGICHE, MORFOLOGICHE ED IDROGEOLOGICHE**

Il territorio del comune di Vecchiano si estende sulla parte meridionale dei Monti d'Oltre Serchio ed in quella settentrionale della Pianura di Pisa in destra del Serchio. Da un punto di vista geomorfologico si distinguono dunque rilievi di modesta altezza rappresentati dall'area collinare ed un'area pianeggiante lambita dal fiume Serchio (TAVV. GEO.01 e GEO.02).

Le diverse unità litostratigrafiche collegate a detti ambiti territoriali differiscono per tipologia litologica, nonché per grado e tipo di permeabilità. Relativamente all'area di pianura, a partire dall'unità litostratigrafica più recente, i terreni affioranti sono costituiti da:

- detriti e terreni di copertura -Quaternario
- alluvioni recenti ed attuali -Quaternario
- coni di deiezione -Quaternario
- depositi torbosi -Quaternario
- alluvioni antiche -Quaternario

Relativamente all'area collinare si hanno le formazioni riconducibili al Complesso ligure ed alla Falda Toscana:

##### Complesso ligure:

- "Argille a palombini": argille e argilliti grigio scuro con intercalati strati gradati medi e spessi di calcilutiti grigie, biancastre in superficie alterata (Titoniano Albiano?)
- "Diaspri": radiolariti (Malm - Cretaceo inf.)

##### Falda Toscana:

- "Macigno": arenarie quarzoso-feldspatico-micacee gradate, in strati di potenza variabile, con livelli più sottili di siltiti (Oligocene sup. – Miocene inf.);
- "Scaglia rossa con calcareniti a Nummuliti": argilliti e argilliti siltose e marnose rossastre, verdastre o grigie, talvolta con intercalazioni di calcareniti grigie o verdastre (Cretaceo inf.? - Paleogene);
- "Maiolica": calcilutiti selcifere ben stratificate, bianche nella parte inferiore della formazione, grigie e con rari livelli calcarenitici nella parte superiore (Titonico sup. - Cretaceo inf);

- "Diaspri": radiolariti rosso-scure o verdi, sottilmente stratificate, localmente con interstrati argillitici (Malm p.p.);
- "Calcare selcifero superiore": calcilutiti e calcareniti, grigio-scure, ben stratificate, con noduli e liste di selce nera (Lias sup. – Malm inf.);
- "Marne con Posidonomya": marne e calcari marnosi grigio-verdastri, e calcari marnosi con Posidonomya (Lias sup. – Dogger p.p.);
- "Calcare selcifero inferiore": calcilutiti talvolta marnose, grigio - chiare, ben stratificate, con noduli e liste di selce grigio-chiara e sottili interstrati marnosi (Lias medio – Lias sup.)
- "Rosso ammonitico": calcari nodulari rosati, rossi o giallastri e calcari stratificati rosa (Lias inf. – Lias medio);
- "Calcare massiccio": calcari e calcari dolomitici grossolanamente stratificati e massicci (Lias inf.);
- "Portoro": calcari scuri, massicci o grossolanamente stratificati, con caratteristiche venature gialle (Lias inf.);
- "Calcarei e marne a *Rhaetavicula Contorta*": calcari, calcari dolomitici e dolomie con sottili intercalazioni di marne (Retico).

### **3 - L'AREA COLLINARE**

Le colline del comune di Vecchiano, connesse ambientalmente con il Parco naturale di Migliarino - S.Rosso - Massaciuccoli, già comprese nell'area protetta regionale n° 50 (L.R.52/82), sono state, nel tempo, sottoposte ad una intensa attività estrattiva che ha determinato un notevole degrado geofisico, idrogeologico e paesaggistico.

Su iniziativa dell'Amministrazione comunale di Vecchiano che ha determinato, negli anni addietro, la cessazione dell'attività estrattiva, i perimetri delle aree in questione sono stati ricompresi tra quelli in cui doveva essere previsto il necessario recupero ambientale in applicazione degli artt. 13 e 17 della L.R. 30/4/80 n° 36 prima ancora che dell'art.9 L.R.7/3/94 n° 22.

Nella variante al P.R.G., adottata dal Consiglio comunale con Del. n° 95 del 6/10/92, le aree degradate furono espressamente riconosciute ed individuate con specifici perimetri (zone di degrado geofisico) per le quali fu definito il percorso per il loro recupero.

Sulla base delle indicazioni della delib.Reg.296/88 (art.2 commi 4,5,6), nelle aree di degrado perimetrati è stata estesa la normativa sul recupero di cui alla L.457/78 e L.R. 59/80, individuando, così, nel piano di recupero, lo strumento di intervento che conduca:

- al superamento del degrado
- alla valorizzazione ed al ripristino degli assetti preesistenti
- alla formazione di attrezzature pubbliche.

Inoltre, parte di queste aree, come ad esempio la cava di S.Frediano che si affaccia sul paese di Vecchiano, è soggetta al vincolo dell'uso civico.

In tal senso con la legge 616/77, la Regione Toscana impose la definizione di un preciso utilizzo dell'aree soggette all'uso civico ed in tal senso previa costituzione di una commissione tecnica, costituita da funzionari della Provincia, del Comune, dell'USL, rappresentati della Regione, dell'Università, nonché da liberi professionisti, per stilare le linee guida per la caratterizzazione di progetti di recupero ambientale, fu indetto, anni orsono, un concorso di idee da cui emerse un progetto vincitore che esprimeva idee per un recupero dell'area nel rispetto delle valenze naturalistiche e storico-archeologiche della stessa.

Inoltre, l'Amministrazione Comunale di Vecchiano, sensibile ai problemi connessi al degrado delle aree collinari, al fine di promuovere la conoscenza delle tecniche di recupero ambientale che fanno capo all' Ingegneria naturalistica, si fece promotrice, nel gennaio 1994, di un convegno dal tema "Vecchiano: problemi ed ipotesi di recupero delle aree degradate", in occasione del quale si ribadì la volontà di procedere al recupero di tali aree mediante metodologie che non determinino ulteriori impatti ambientali.

#### **3.1 - CARATTERISTI GEOMORFOLOGICHE**

Le aree collinari di Vecchiano, più note come Monti d'Oltre Serchio, sono costituite dall'affioramento quasi continuo della Serie Toscana non metamorfica ben rappresentata in questa zona soprattutto dalle formazioni carbonatiche mesozoiche di piattaforma e, in minor misura, da quelle pelagiche.

La TAV. GEO.01 relativa allo studio geologico di supporto al Piano Strutturale, illustra le caratteristiche geologiche dell'area collinare di Vecchiano.

Le facies di piattaforma sono costituite dai Calcari massicci, presenti con spessori notevoli ed indicanti un ambiente di mare aperto, anche se basso.

Seguono Calcari rossi con Ammoniti, di modesto spessore, che con la loro struttura nodulare rinviano ad un fondo marino instabile.

Le facies pelagiche sono presenti con i Calcari selciferi, inferiori e superiori, e con la Maiolica ed affiorano nella zona nord-occidentale del contesto collinare considerato.

Ad una sedimentazione al di sotto del limite di compensazione dei carbonati corrispondono i Diaspri, presenti con un livello in corrispondenza di monte Legnaio, mentre le facies arenacee di Macigno si trovano presso il confine provinciale PI-LU, presso il Castello di Cotone.

A Nord del tracciato autostradale A11 affiorano pure formazioni appartenenti ai complessi liguri alloctoni, quali Diaspri, Argille a Palombini e variegate.

Le formazioni carbonatiche, immergenti prevalentemente verso NO, presentano un sistema di fratture ad andamento NO-SE, in linea con le principali direttive tettoniche delle faglie della zona ed appenniniche.

## **L'ambiente carsico**

Il censimento e il rilievo dei fenomeni carsici superficiali ed ipogei presenti nella fascia collinare dei Monti d'Oltre Serchio, insieme ad iniziative volte alla divulgazione ed alla valorizzazione di detto patrimonio speleologico, ai sensi della L.R. 20/84, sono stati condotti per conto dell'Amministrazione Comunale di Vecchiano, negli anni passati a cura del Gruppo Speleologico del CAI di Pisa, nonché da geologi locali.

Il lavoro si è articolato in due parti fondamentali: lo studio delle aree carsiche dal punto di vista scientifico e la loro valorizzazione come patrimonio collettivo. Quest'ultima è stata effettuata anche grazie ad un corso di introduzione alla speleologia rivolto agli studenti della locale scuola media e a varie iniziative che hanno coinvolto Associazioni di volontariato e singoli cittadini.

Gran parte del comprensorio collinare di Vecchiano è costituito da formazioni carbonatiche su cui si sono potuti sviluppare fenomeni carsici di notevole rilevanza scientifica e paletnologica.

Tali emergenze speleologiche, in parte note, in parte inedite, furono adeguatamente cartografate e rilevate, in modo da consentire la garanzia per la loro tutela e valorizzazione come patrimonio del territorio di Vecchiano.

Lo studio condotto ha consentito, inoltre, la formulazione di proposte per la realizzazione di itinerari didattico-divulgativi e turistici in cui emergono le peculiarità naturalistiche e storico archeologiche del territorio collinare di Vecchiano.

La caratteristica saliente dell'area è l'affioramento dei Calcari massicci, una formazione del Giurese inferiore (190 MA) che rinvia ad una paleogeografia ambientale costituita da una piattaforma carbonatica di mare aperto.

Il calcare massiccio presenta una stratificazione con strati di notevole spessore, segno di una sedimentazione che si è realizzata all'interno della scogliera corallina. Si rileva pure una generale immersione verso Nord-Ovest.

Sebbene i Calcari massicci occupino la quasi totalità dell'area considerata, è importante segnalare la presenza di un limitato affioramento di calcari a Rhaetavicula contorta, in corrispondenza del margine orientale dei rilievi, presso l'abitato di Avane. Si tratta di una facies propria di un bacino

di sedimentazione a bassa energia, una laguna o una palude costiera con fondali poco ossigenati, condizione che conferisce ai successivi calcari il tipico colore scuro. L'età è riferita al Trias superiore grazie alla presenza dei fossili sopraccitati, ben noti sin dal secolo scorso.

Nel settore a N dell'autostrada affiorano le formazioni appartenenti alla serie mesozoica toscana non metamorfica ed in particolare è possibile osservare, sulla sommità del Poggio dei Cavoli, il passaggio tra la formazione del Calcare massiccio, del Rosso ammonitico, del Calcare selcifero superiore con stratificazione subverticale e fortemente immergente verso W. Tale passaggio può essere anche osservato nei pressi della cava omonima lungo la strada provinciale Sarzanese - Valdera, di fronte a Casa Pratacci.

Il Calcare rosso ammonitico rappresenterebbe un ambiente in cui si sarebbero alternati periodi di sedimentazione dei calcari con periodi di dissoluzione degli stessi, per cui uno stesso calcare si sarebbe ritrovato nella situazione di dissolversi una volta depositatosi, mentre il Calcare selcifero esprime un ambiente di sedimentazione pelagico, avvenuta al di sopra del limite di compensazione dei carbonati.

Lo studio aerofotogrammetrico dell'area collinare di Vecchiano ha consentito un'analisi dettagliata delle fratturazioni presenti. Le TAVV. GEO.01 e GEO.02, relative allo studio geologico di supporto al Piano Strutturale, riportano la localizzazione delle fratture principali delle quali, una serie distensiva evidente, ha originato delle "trincee".

Tali lineamenti hanno evidenziato 2 direzioni di sviluppo principali corrispondenti indicativamente a N 60° e a N 120°, mentre le trincee hanno direzioni principali intorno a N120° e N140°.

Cavità ed inghiottiti presenti nell'area sono allineati secondo la direzione NO-SE, la stessa delle fratture e delle faglie della tettonica distensiva posteriore al Miocene sup.. Anche le tre doline maggiori sono allineate in questa direzione, come la maggior parte delle "trincee", anch'esse legate a sistemi di faglie distensive il cui meccanismo è elemento visibile nella parete di cava del M. Spazzavento.

La presenza generalizzata di calcare ha portato allo sviluppo di speleotemi epigei ed ipogei, a volte di notevole rilevanza qualitativa e quantitativa.

### Speleotemi epigei

Le emergenze epigee sono costituite da tipici fenomeni di corrosione superficiale delle superfici carbonatiche che portano alla formazione di scannellature, vaschette di corrosione e microfessurazioni.

La relativa omogeneità mineralogica e strutturale del Calcare massiccio favorisce la genesi di tali speleotemi, che risultano più evidenti in corrispondenza delle aree a calcare "denudato", ossia quelle zone prive o solo parzialmente coperte da vegetazione.

La scarsa presenza di copertura vegetale è dovuta a fattori antropici, legati al taglio per approvvigionamento di combustibile e/o materiale da costruzione, insieme agli incendi.

Così dell'antica foresta di macchia mediterranea resta il solo toponimo "Sotto i Lecci" (a monte della cava Panconi), mentre "Campo delle Felci" (tra il M. Spazzavento e Vallecchia) rinvia ad una situazione ambientale più mite rispetto all'attuale.

E' chiaro che la superficie carbonatica denudata è massivamente esposta ai fenomeni di corrosione chimica, mentre non sono stati rilevati casi di "carso coperto", vale a dire di situazioni ove lo sviluppo del manto vegetale ed i relativi acidi umici e fulvici potenziano i fenomeni di

dissoluzione. Probabilmente il fattore condizionante è, in questo caso, la quantità di precipitazioni annue (intorno ai 900 mm/anno) non sufficienti ad innescare i processi chimici.

Le maggiori evidenze di scannellature, solchi di corrosione e fessurazioni sono state riscontrate sulle pendici del M. Spazzavento, sul versante occidentale di quota 204 (loc. Conca), sulla sella de Le Grepole, fino al castello. In particolare per il Monte Spazzavento tali speleotemi si rilevano sul versante Sud-Est, fino al limite degli uliveti e sulla costa di Morione, mentre il fronte della cava di S. Frediano, sul versante Sud-Ovest, mette in luce numerose fratture, che riproducono il caratteristico sistema di faglie sintetiche-antitetiche, ad andamento NO-SE, in linea con le principali direttive tettoniche della zona.

I fronti di taglio di molte cave hanno messo in luce molteplici cavità intercettate nel corso dell'attività estrattiva.

Anche per le altre cave della zona si rileva lo stesso fenomeno, dalle cave dei Panconi alla cava Del Maestro.

Lungo una direttiva tettonica NO risultano allineate le tre grandi doline della zona (TAV. GEO.01) relativa allo studio geologico di supporto al Piano Strutturale):

- 1) poco a Est del Campo delle Felci
- 2) sul versante occidentale di Q.204 (loc. Conca)
- 3) pendici orientali de Le Grepole.

Le doline sono delle depressioni di forma circolare, la cui origine per corrosione e/o crollo è riconducibile al ruscellamento superficiale delle acque, in movimento centripeto verso un centro di assorbimento, che diviene di una forma chiusa e che si approfondisce sempre di più.

In una dolina, specie se di dimensioni discrete, si vengono a produrre delle peculiari condizioni microclimatiche che portano allo sviluppo di una sequenza inversa della vegetazione. Dal bordo verso il centro dell'imbuto avremo specie a sempre maggiore affinità microterma.

Quelle di Vecchiano presentano un diametro intorno ai 30 metri e, procedendo dall'orlo esterno verso l'interno, avremo la comparsa progressiva di roverella e frassino e la scomparsa di mirto e lentisco.

A Nord dell'autostrada Firenze-mare il Calcare massiccio, interessato, in genere, da evidenti forme di dissoluzione superficiale (forme cariate), è caratterizzato, inoltre, sulle superfici a minore acclività, nel settore orientale, dallo sviluppo di una serie di doline di piccolo diametro, pari a 3.5 - 4 metri (ad eccezione di alcune a diametro maggiore), con tipica forma a scodella.

Si può inoltre osservare che molte di queste doline si sono sviluppate secondo direzioni preferenziali che potrebbero coincidere con quelle di alcune lineazioni tettoniche.

Ad esempio alcune doline, intervallate ad una distanza di poco più di un metro, presentano lungo uno stesso asse (N120°), in direzione SE, una serie di piccole doline non cartografate per le esigue dimensioni.

La vegetazione presente è quella della macchia mediterranea degradata (gariga), erbacea ed arbustiva, riscontrabile, talora anche ai bordi delle doline (cisto, ginepro, etc.). Nei periodi della primavera sono presenti anche fioriture di orchidee spontanee delle famiglie Orchis ed Ophrys, ed asparagi.

## Speleotemi ipogei

Le manifestazioni ipogee sono costituite da cavità che si originano da discontinuità tettoniche o stratigrafiche (faglie e giunti di stratificazione) e dalla coalescenza delle microfessure del calcare. Le cavità arrivano a dare delle vere e proprie grotte, utilizzate sin dalla preistoria. Tali cavità sono costituite da cunicoli che, nella fase di carsismo fossile, sono caratterizzati dalla presenza di crostoni e scarse formazioni stalattitiche.

Le più note sono quelle riportate dalla bibliografia archeologica, ma ne esistono altre sette censite sotto il Catasto Speleologico della Toscana. Due, inoltre, sono note per vox populi e segnalate nella bibliografia relativa al castello di Avane: una artificiale in relazione con la torre principale, l'altra più a Sud (TAV. GEO.01, relativa allo studio geologico).

I rilievi condotti hanno consentito l'individuazione di una notevole concentrazione di ventaiole, alcune con caratteristiche di inghiottitoio, nella parte sud del M. Spazzavento, presumibilmente comunicanti fra loro, come dimostrerebbe la pressoché uniforme circolazione d'aria e omogeneità delle temperature interne.

Altra zona con alta concentrazione di cavità è la parte Ovest del M. Le Grepole dove però la fitta macchia consente solo parzialmente di ricostruire la fratturazione. In questa zona si apre la Tana del Paduletto, unica grotta con presenza di acqua; la discreta profondità del pozzo iniziale ed il fatto che si apra a fianco di una strada, ha suggerito di apportare una griglia di protezione all'ingresso di essa.

Caratteristica comune di tutte le cavità esplorate è la scarsissima circolazione d'acqua che ha consentito la formazione limitata di concrezioni. Esse presentano essenzialmente forme di colata lungo le pareti, concrezioni da splash e raramente formano cortine o stalattiti; ciò è facilmente spiegabile con la relativa velocità con cui acqua superficiale attraversa la roccia intensamente fratturata.

L'unica eccezione è la grotta identificata nello studio di cui al censimento sopracitato con il n. 27, già nota da tempo, in cui è stata possibile la formazione di concrezioni di notevoli dimensioni. Le grotte individuate sono state opportunamente siglate ed al loro ingresso sono state posizionate placchette in metallo contrassegnate da numero di riconoscimento.

Si rimanda al lavoro originario per eventuali approfondimenti e per la presa visione delle schede compilate durante la fase di campagna, comprensive dei dati tecnici richiesti dal Catasto Speleologico della Toscana.

## 4 - LA PIANURA

### 4.1 - LA GOLENA DEL SERCHIO

Il Serchio è senz'altro una delle entità più importanti dei territori comunali di Vecchiano e di S.Giuliano Terme, basti pensare che gran parte dei sedimenti presenti nell'area della pianura sono costituiti in prevalenza da depositi limosi e sabbiosi o argillo limosi dell'Olocene, collegati al sovralluvionamento che si sviluppò a seguito della deglaciazione post-wurmiana e per aumento dello sbarramento a mare ad opera del sistema dei lidi del delta del fiume.

In tali sedimenti prevalgono le sabbie, nelle zone più prossime al corso attuale del Serchio, accumulatesi durante le frequenti esondazioni del passato.

Nelle zone più distali, sono più diffuse le argille e le torbe, segno che tali aree sono state, in passato, più soggette ad impaludamenti, mentre le esondazioni trasportavano solo i sedimenti più fini.

Il tratto terminale del Serchio, da Pontasserchio al mare, ha uno sviluppo geologicamente molto recente, legato alla tracimazione attraverso la valle abbandonata della stretta di Ripafratta (Wurm II o Wurm I). Tale fiume, nel corso dei tempi, è stato soggetto a notevoli cambiamenti del suo corso, documentati da diversi tratti di paleoalvei abbandonati, sia sepolti che in superficie, così come emerso da studi eseguiti su immagini da satellite e da aerofotogrammetria.

Oggi, il Serchio, col le sue aree goleali, costituisce un elemento di grande valore ambientale, tant'è che nella sua Variante al PRG, attualmente in vigore, l'Amministrazione comunale di Vecchiano riporta come obiettivo principale, quello di esortare la comunità a "*.....riappropriarsi di uno spazio pregiato, lungo il quale camminare e svagarsi, di frequentarlo, di considerarlo una componente principale del proprio territorio.....*". In tal senso, l'Amministrazione comunale di Vecchiano ha formulato la volontà di realizzare un percorso pedonale, ciclabile, equestre, lungo l'argine, con il recupero di situazioni di degrado e l'inserimento di piccole attrezzature ludico/sportive, quali strutture sull'acqua per la pesca, accosto o rimessaggio barchini, piccole strutture per il ristoro e lo svago, tutte da realizzarsi con materiali tipici quali legno, falasco ed altro.

A tal proposito, nel passato, l'Amministrazione comunale di Vecchiano ha realizzato un progetto per la valorizzazione di quest'area che costituisce il Parco goleale del Serchio. Tale progetto ha comportato la realizzazione di un percorso pedonale, ciclabile ed equestre lungo l'asta del Serchio, fino a raggiungere la fascia costiera e dunque l'arenile all'interno del Parco naturale di Migliarino - S.Rossore - Massaciuccoli.

### 4.2 - LA BONIFICA

Da un punto di vista morfo-strutturale rappresenta una porzione della più vasta depressione tettonica delimitata a NE dalla struttura positiva dei Monti Pisani-Monti d'oltre Serchio.

Tale area, a partire dal Miocene superiore, è stata sottoposta ad una alternanza di fasi trasgressive e regressive da parte del mare, che hanno determinato l'accumulo di tipologie diverse di depositi, di tipo marino, continentale e di transizione, che hanno definito le caratteristiche litologiche della

pianura. Inoltre, la parte più superficiale dei depositi si è originata per azione del sistema idrografico Arno-Serchio, che hanno determinato deposizione di sedimenti alluvionali.

In epoca recente, la formazione delle dune costiere di Migliarino-S. Rossore, hanno determinato uno sbarramento della rete idrografica che, ostacolata nel suo deflusso a mare, ha determinato vaste fasce di impaludamento, comportando, dunque, nel tempo, gli interventi di bonifica, ormai noti. L'alternanza ed il compenetrarsi di vicende naturali hanno determinato l'avvicendamento di azioni antropiche, con la realizzazione di ambienti tramandati nel tempo sino ad oggi.

Le aree agricole che qui si sviluppano sin dall'antichità, rivestono un'attività fondamentale nell'economia locale e rappresentano, senz'altro, un elemento paesaggistico da tutelare e da rispettare, dando luogo ad una struttura territoriale complessa formata da viabilità, insediamenti rurali che costituiscono un ricco patrimonio edilizio dal momento che determinano la memoria storica di Vecchiano.

La fascia più prossima al lago, consente, ancora oggi la presenza di aree palustri coperte da tipica vegetazione a prevalenza di cannuccia e falasco con rada componente arborea. Essa ospita una fauna specializzata e ben adattata al particolare ambiente. Inoltre, tali aree sono caratterizzate dalla presenza di uccelli fra cui molti ardeidi. In tali aree sono già predisposti sentieri naturalistici con localizzazione di sentieri didattici.

Inoltre, partendo da Massaciuccoli sono possibili itinerari in battello o a bordo dei classici barchini di padule, all'interno di iniziative promosse da Parco.

#### **4.3 - L'ARENILE**

Il litorale sabbioso rappresenta un ambiente molto interessante da un punto di vista naturalistico, in quanto in esso si trovano varie associazioni vegetali sviluppatesi sulle dune che sono riuscite a sottrarsi ai vari tentativi di speculazione edilizia degli anni '70.

La frequentazione dell'area è particolarmente legata, nel periodo estivo, alla balneazione, ma la proposta da parte dell'Amministrazione comunale di Vecchiano è quella di promuovere iniziative atte a favorire la presenza turistica anche in periodi diversi da quello estivo.

Negli ultimi anni, il Comune, in collaborazione con il Parco, si è fatto promotore della progettazione di un giardino botanico litoraneo, attraverso il quale, si propone la conoscenza e la divulgazione di tale ambiente naturale, al fine di promuovere la salvaguardia e la conservazione del delicato ecosistema "duna", in modo tale che tale ambito territoriale del Parco naturale di Migliarino - S. Rossore - Massaciuccoli, sottrattosi al degrado, possa offrirsi come meta prestigiosa a chi frequenta il litorale non solo per la balneazione, ma anche per ammirare, in modo meno "distratto", l'ambiente che lo ospita.

La stessa, ha presentato un progetto per il recupero di una fascia dunale, degradata dalla passata attività di un poligono di tiro militare, anche per la salvaguardia dell'area che è oggetto di nidificazione da parte del Fratino.

#### 4.4 - LA GEOLOGIA DELLA PIANURA

La raccolta e l'analisi de dati stratigrafici, sismici e geotecnici ha consentito una ricostruzione tridimensionale degli spessori dei sedimenti ricoprenti il bedrock permettendo di suddividere l'area pianeggiante in:

- zona pedecollinare, caratterizzata da detrito di versante (in matrice di argille residuali per le aree a litotipi carbonatici) e da conidi di deiezione torrentizia che si interdigitano con i sedimenti fluvio lacustri, prevalentemente costituiti da alternanze limo argillose i primi e da argille azzurre, argille e torbe i secondi;
- zona della pianura alluvionale, caratterizzata per la parte più vicina al fiume Serchio da alternanze di argille, limi, sabbie e ghiaie, sulle quali si sono depositi sedimenti palustri (torbe e argille) nella zona afferente l'area della bonifica di Vecchiano;
- zona della pianura costiera, caratterizzata da depositi sabbiosi dunali e di lame.

Gli spessori di tali sedimenti risultano aumentare progressivamente man mano che ci si allontana dalle pendici collinari e subiscono un brusco incremento in corrispondenza della faglia capace, a direzione appenninica, che passa tra la frazione di Nodica e quella di Vecchiano.

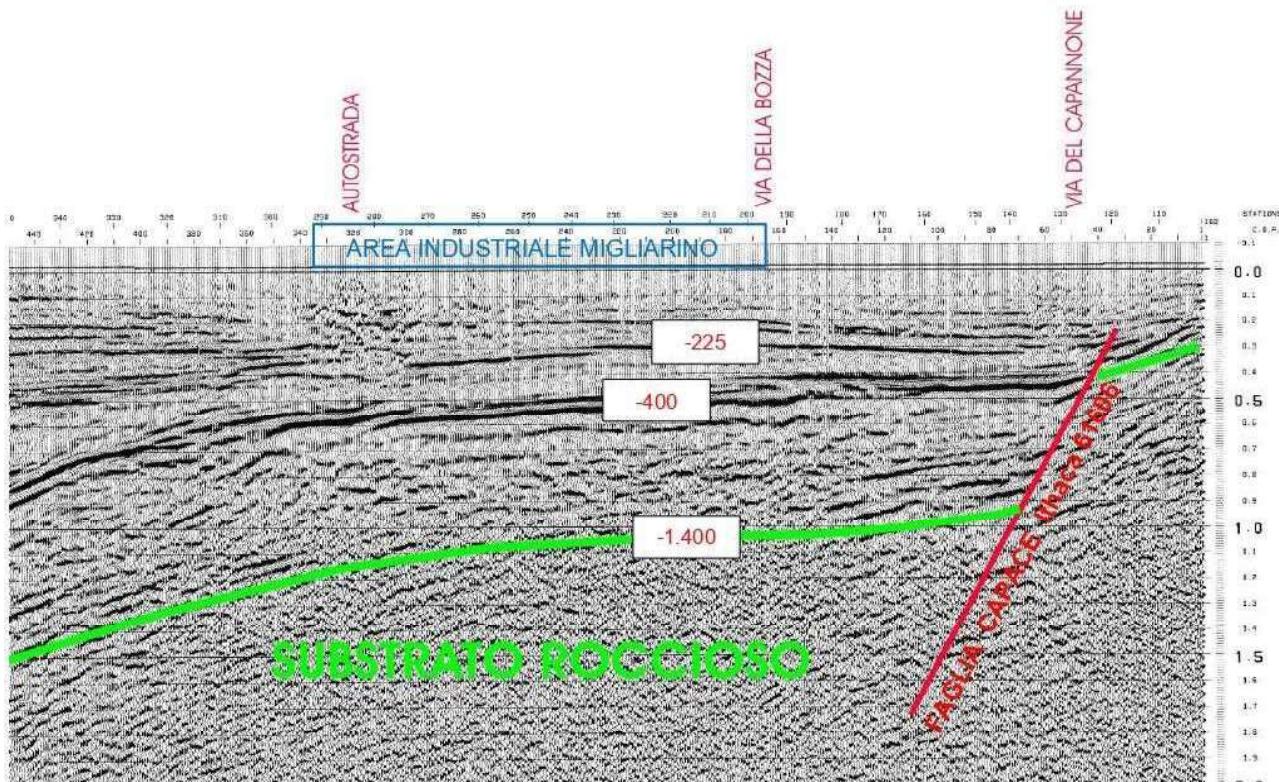


Tale faglia diretta, a direzione nord-ovest sud-est, classificata nel Catalogo ITHACA come capace, ha ribassato il bedrock geologico di circa 1 km.

La sezione sismica a riflessione (ViDEPI PIC-05-89V), passante per l'area industriale di Migliarino, con direzione monti-mare e di lunghezza superiore ai 7 km, interessa tutto il tratto della pianura alluvionale. Su tale sezione, lato monte è visibile la faglia capace ITHACA 61606 che ribassa verso sud-ovest oltre che il bedrock geologico anche il bedrock sismico, con misure

dei picchi di frequenza  $> 0,5$  Hz a nord-est della faglia, mentre a sud-ovest le frequenze sono generalmente  $< 0,35$  Hz, con eccezioni dovute alla presenza di livelli di ghiaie che generano fenomeni di contrasto di impedenza sismica significativa,  $> 2$ . Il bedrock geologico, a sud-ovest della faglia, è ubicato a profondità  $> 1.400$  mt.

La sottostante figura riporta l'interpretazione del profilo sismico a riflessione ViDEPI PIC-05-89V. Nei sedimenti marini e nelle alternanze con cicli emersi, più superficiali, sono individuabili livelli di ghiaie che in alcuni casi raggiungono spessori considerevoli, con buona continuità laterale (livelli in nero) in grado di generare fenomeni di contrasto sismico e ai quali in tal caso corrisponde il bedrock sismico.



Nell'abitato di Nodica e di Migliarino e nell'Area Industriale di Migliarino, le frequenze derivanti dalle misure di HVSR variano generalmente tra valori di 0,31 – 0,34, valori che verosimilmente corrispondono a un bedrock sismico ubicato alla profondità di circa -225 mt, in corrispondenza di un livello di ghiaie con buona continuità laterale, profondità confermata anche dalla ricostruzione del modello sismico stratigrafico derivante dalla MASW (0013) e relativa misura HVSR realizzate nell'area industriale.

Eccezioni si riscontrano nell'abitato di Migliarino e nell'omonima area industriale a causa di un livello di ghiaie superficiali, con tetto variabile tra -36 e -43 mt che talvolta genera fenomeni di contrasto di impedenza sismica significativa e corrispondenza del bedrock sismico con tale livello di ghiaie.

In base ai dati stratigrafici/sismici raccolti, il bedrock sismico può essere pertanto distinto in 2 macroaree:

- fascia pedecollinare con spessori  $< 100$  metri
- fascia di basso strutturale generalmente con spessori  $> 100$  m.

## 5 - CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE DEL TERRITORIO COMUNALE

Alla differenziazione litologica del territorio corrisponde una classificazione in termini di permeabilità, per cui, relativamente all'area collinare, le formazioni presenti sono per lo più caratterizzate da alti livelli di permeabilità secondaria per fessurazione e per carsismo, mentre il fondovalle presenta, a seconda della litologia prevalente, livelli di permeabilità per porosità variabili.

Nel sottosuolo del territorio di Vecchiano, dunque, sono presenti due sistemi acquiferi differenti identificabili in:

- un sistema acquifero alluvionale costituito da un sistema di falde freatiche ed in pressione all'interno dei sedimenti ghiaiosi e sabbiosi dei depositi alluvionali del Serchio, in cui la ricarica è in parte determinata direttamente dal fiume ed in parte mediante precipitazione meteorica, attraverso infiltrazione diretta e ruscellamento dai versanti delle aree collinari e da ricariche profonde laterali dei conoidi detritici;
- un sistema acquifero calcareo che comprende le falde profonde presenti nel calcare massiccio e nella maiolica. La circolazione idrica si sviluppa in corrispondenza della presenza di fratture e l'alimentazione è prevalentemente dovuta alla ricarica per infiltrazione diretta di acqua meteorica.

I due sistemi acquiferi sopra identificati sono in comunicazione e lo scambio sotterraneo tra le relative falde può avvenire in entrambi i sensi.

Diverse sorgenti sono state segnalate nell'area collinare, non ultima quella del Paduletto, sita ai piedi del versante occidentale del rilievo di Monte Bruceto, la cui presenza sembra collegata all'andamento della fratturazione lungo la quale sono impostati i fenomeni carsici principali.

Per tali prerogative il territorio di Vecchiano è sede dei tre acquedotti civici in località Paduletto, Vecchiano, Filettole (portata 1000 l/s) che provvedono al rifornimento idrico di Pisa e di Livorno mediante opere di canalizzazione distribuite su tutto il territorio. In tal senso si identifica una zona di protezione che interessa tutta la porzione di territorio comunale in cui sono presenti gli affioramenti del calcare massiccio e della maiolica che costituiscono il serbatoio carbonatico e tutta l'area collinare che contribuisce alla ricarica dell'acquifero.

### 5.1 - LA VULNERABILITÀ INTRINSECA DELL'AREA COLLINARE

A seguito dello studio inerente il "Censimento e rilievo delle aree carsiche dell'area collinare del Comune di Vecchiano", effettuato dalla Federazione Speleologica del CAI di Pisa, con finanziamento regionale di cui alla L.R.20/84, è emerso per il territorio collinare del comune di Vecchiano un quadro molto interessante circa le peculiarità carsiche presenti che, oltre a costituire un patrimonio speleologico da tutelare e valorizzare, determinano alcune problematiche legate alla vulnerabilità del sistema idrogeologico sviluppatosi nell'area (che ha determinato, nel tempo, lo sfruttamento della risorsa acqua ad opera di due acquedotti).

Con l'intenzione, dunque di non limitarsi esclusivamente al censimento ed al rilievo delle fenomenologie speleologiche presenti nell'area, ma di elaborare le informazioni raccolte al fine di fornire all'Amministrazione uno strumento utile alla propria pianificazione territoriale, è stato

ulteriormente richiesto ed ottenuto un finanziamento attraverso la già citata L.R. con il quale è stata realizzata la carta della vulnerabilità intrinseca del territorio comunale di Vecchiano.

La carta della vulnerabilità intrinseca elaborata (TAV. GEO.04) esprime la suscettibilità specifica dei sistemi acquiferi, nelle loro diverse parti componenti e nelle diverse situazioni geometriche ed idrodinamiche, ad ingerire e diffondere, anche mitigandone gli effetti, un inquinante fluido o idrogeologico tale da produrre impatto sulla qualità dell'acqua sotterranea, nello spazio e nel tempo.

Tale situazione può essere evidenziata in una carta tematica che tenga in considerazione non solo le caratteristiche litologiche degli affioramenti, ma anche la permeabilità, la presenza di fratturazione, di dissoluzione carsica, nonché la presenza di copertura pedologica e vegetazionale.

La possibilità che le acque sotterranee possano essere contaminate dipende dalla velocità con la quale si ha il trasferimento dalla superficie topografica a quella della falda, dall'entità dell'infiltrazione e dal percorso effettuato, dai meccanismi chimico-fisici e biologici che operano selettivamente in relazione al tipo di terreno e di sostanze.

La carta elaborata fornisce una zonizzazione in base alla vulnerabilità intrinseca, valutata sulla base dei rilievi effettuati in situ che hanno accertato, relativamente ai vari litotipi presenti nell'area, le condizioni di fessurazione, fratturazione, sviluppo del carsismo in senso orizzontale e verticale, presenza di copertura pedologica e vegetazionale.

In tal senso, le considerazioni formulate permettono di attribuire un indice di vulnerabilità intrinseca alle formazioni litoidi presenti.

### **Calcare rosso ammonitico- calcare massiccio-suoli rossi di alterazione**

Affiorano nel settore sud-est dell'area collinare e sono caratterizzati da:

- fenomeni di dissoluzione, elevata-massima concentrazione di fenomeni carsici costituiti da grotte e doline (la quasi totalità dei fenomeni carsici si sviluppa in questo settore)
- massimo sviluppo di trincee
- maggiore fratturazione
- vegetazione presente costituita essenzialmente da gariga (macchia mediterranea degradata) con limitate aree in cui si sviluppa macchia mediterranea costituita essenzialmente da arbusti; nel versante est si hanno uliveti.

Per le caratteristiche suindicata, tale settore dell'area collinare può essere definito ad alta vulnerabilità.

Si evidenzia, inoltre un'area a maggiore vulnerabilità in corrispondenza di vecchi fronti estrattivi ed una ancora più elevata laddove sono localizzate trincee, fratture, grotte, doline (per la presenza di inghiottitoi). In tali situazioni, infatti, l'acqua circola con notevole velocità e senza che possano avvenire meccanismi di autodepurazione.

Fanno eccezione i suoli rossi di alterazione del calcare massiccio in cui è possibile che si verifichino anche i fenomeni di autodepurazione suindicati, per cui è stata attribuita una vulnerabilità medio-alta.

### **Calcare selcifero – maiolica – calcari e marne ad *Avicula contorta* - calcari grigio scuri tipo Portoro**

Il calcare selcifero e la maiolica presentano:

- alto grado di fratturazione sebbene più limitata degli affioramenti precedenti, elevata concentrazione di vegetazione costituita da macchia mediterranea e bosco, oltre che da oliveti
- assenza di fenomeni evidenti di fratture tipo trincea o di fenomeni di dissoluzione; a tal proposito il forte sviluppo di vegetazione maschera l'eventuale presenza di fenomeni di dissoluzione che d'altra parte non possono essere considerati nulli, dal momento che le sostanze umiche e fulviche che si sviluppano in presenza di vegetazione potrebbero accelerare il fenomeno.

Le altre tipologie litologiche suindicate presentano fratturazione e dissoluzione di media intensità. Per le caratteristiche suindicate, tale settore dell'area collinare può essere definito come a vulnerabilità medio alta, ad eccezione delle aree dei vecchi fronti estrattivi per i quali si attribuisce una vulnerabilità alta, per le motivazioni già indicate.

### **Diaspri**

I diaspri sono caratterizzati da intensa fratturazione aperta, non riempita, per cui si attribuisce una vulnerabilità media.

### **Marne ed argilliti tipo scaglia**

Per essi si attribuisce una vulnerabilità medio bassa, essenzialmente per le basse caratteristiche di permeabilità e perché è possibile che si instaurino fenomeni di autodepurazione per un eventuale inquinante che possa attraversare tali formazioni.

### **Macigno**

Tale formazione non fa parte degli affioramenti calcarei oggetto di trattazione, ma è stata presa in considerazione per completare il quadro di informazione sulla vulnerabilità dell'area collinare del comune di Vecchiano. A tale formazione (che affiora nell'area di Filettole) è stata attribuita una vulnerabilità bassa.

## **5.2 - LA VULNERABILITÀ INTRINSECA DELLA PIANURA**

In corrispondenza dei depositi di duna costiera la falda si ricarica direttamente per infiltrazione di acqua meteorica, grazie alla buona permeabilità superficiale delle sabbie eoliche che consente un discreto tasso di infiltrazione che origina un alto piezometrico che funge da sbarramento al deflusso proveniente dall'entroterra e dall'ingressione dell'acqua marina nella falda superficiale.

L'alimentazione della falda avviene in prevalenza per infiltrazione diretta meteorica, pertanto la vulnerabilità è elevata.

Nell'area di pianura, per la presenza di una falda indifferenziata, a diretto contatto con quella profonda si ha che il grado di protezione della risorsa è insufficiente, in quanto il grado di vulnerabilità è funzione della prevalenza di sedimenti limo-sabbiosi o sabbio-limosi.

Le acque freatiche sono alimentate da una locale circolazione superficiale in diretta connessione con le precipitazioni e presentano un equilibrio con la falda artesiana; infatti tali acque provenienti da affluenti ai due fianchi vallivi, vengono ad infiltrarsi in depositi di deiezione di media permeabilità, eteropici, verso valle, con le ghiaie sabbiose in cui è contenuta la falda artesiana.

Pertanto, le acque freatiche risultano in stretta connessione con quelle artesiane e sensibili ad ogni variazione di livello di queste ultime. Spostandosi verso la foce è presente una falda che può essere definita povera, dove l'acquifero presenta una granulometria fine da limo-sabbiosa a francamente sabbiosa, anche se in corrispondenza dell'alveo attuale o di paleoalvei del Serchio si sviluppano depositi ghiaioso ciottolosi di discreto spessore. Tale falda alimenta numerosi pozzi romani e wellpoints profondi 5-10 metri, destinati all'irrigazione estiva per la produzione agricola e della pianura. Il grado di vulnerabilità è funzione della prevalenza di sedimenti sabbio-limosi o limo-sabbiosi.

In corrispondenza della zona della bonifica, laddove in profondità sono presenti livelli sabbiosi facenti parte di un acquifero multi strato, la vulnerabilità dello stesso è determinata dalla presenza o meno di livelli impermeabili superficiali che possono limitare l'infiltrazione di eventuali inquinanti in falda; pertanto questo areale è da considerarsi a vulnerabilità media – medio/bassa.

### **5.3 - AREE DI SALVAGUARDIA ACQUEDOTTISTICA**

Per le caratteristiche idrogeologiche sopraesposte il territorio del comune di Vecchiano e sede di 3 importanti campo pozzi, strategici per l'approvvigionamento idropotabile oltre che del proprio territorio anche di quello di Pisa e di Livorno:

- Campo pozzi di Filettoli
- Campo pozzi di Vecchiano
- Campo pozzi del Paduletto

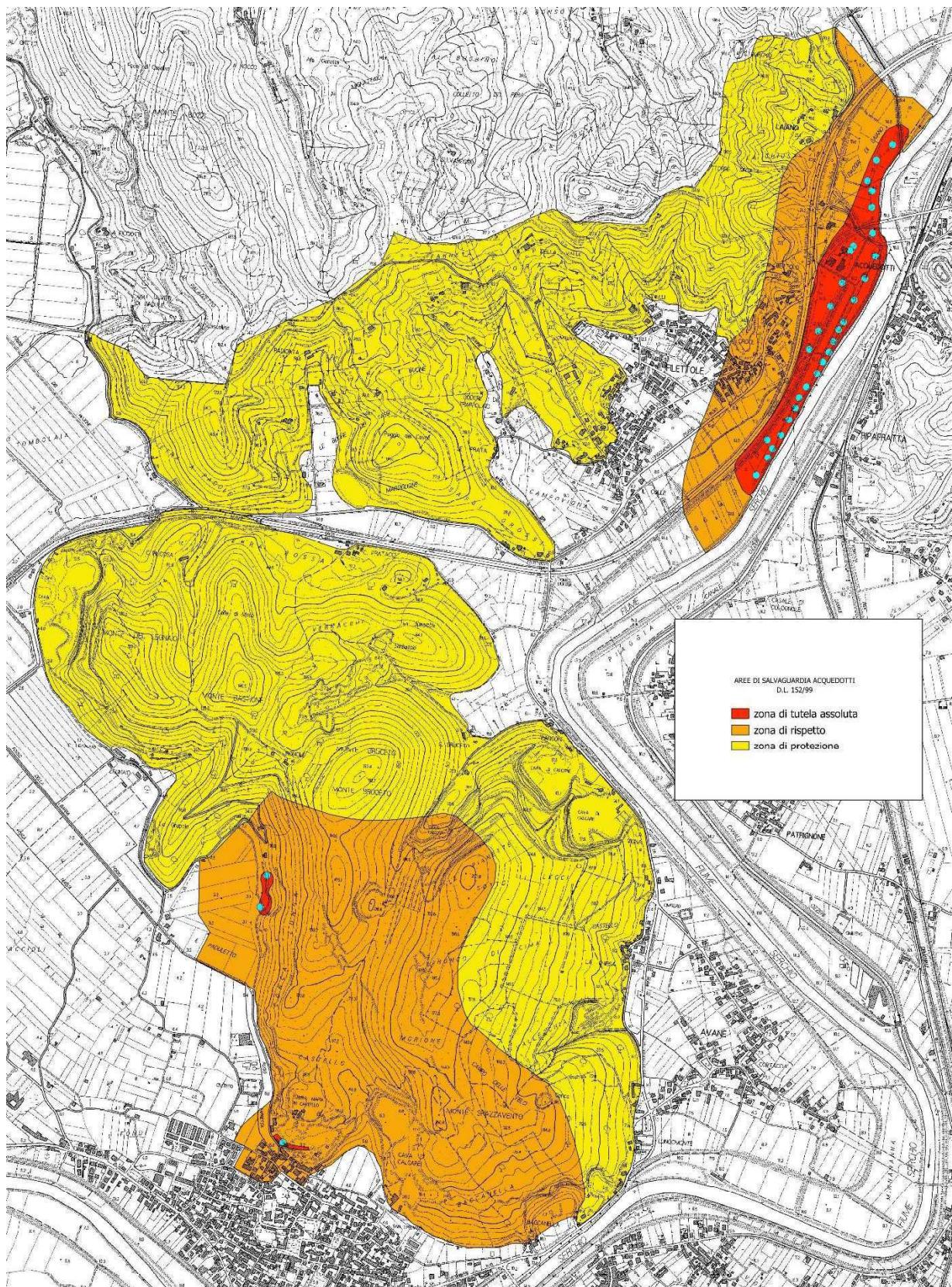
Il primo ha sede nell'acquifero poroso delle ghiaie e sabbie del fiume Serchio presso la stretta di Ripafratta, con emungimento medio di circa 1.000 l/s e con acque destinate al territorio di Pisa e di Livorno.

Il secondo e il terzo sono ubicati nell'acquifero carbonatico fessurato, in località Fornace quello che alimenta l'acquedotto locale e in località Paduletto (circa 100 l/s) quello che alimenta gli acquedotti di Livorno e Pisa.

Per dare un'idea quantitativa annuale riportiamo i dati di ASA relativa ai prelievi del 2023. Il campo pozzi di Paduletto, dotato di 3 pozzi ha emunto circa 2,64 milioni di mc d'acqua, suddivisi tra i comuni di Livorno e Pisa; il campo pozzi di Filettoli dai 10 pozzi riservati a Livorno sono provenuti circa 3,21 milioni di mc.

Per la salvaguardia di una risorsa così altamente strategica i risultati dello studio della Vulnerabilità Intrinseca implicano alcune considerazioni inerenti la pianificazione del territorio collinare di Vecchiano.

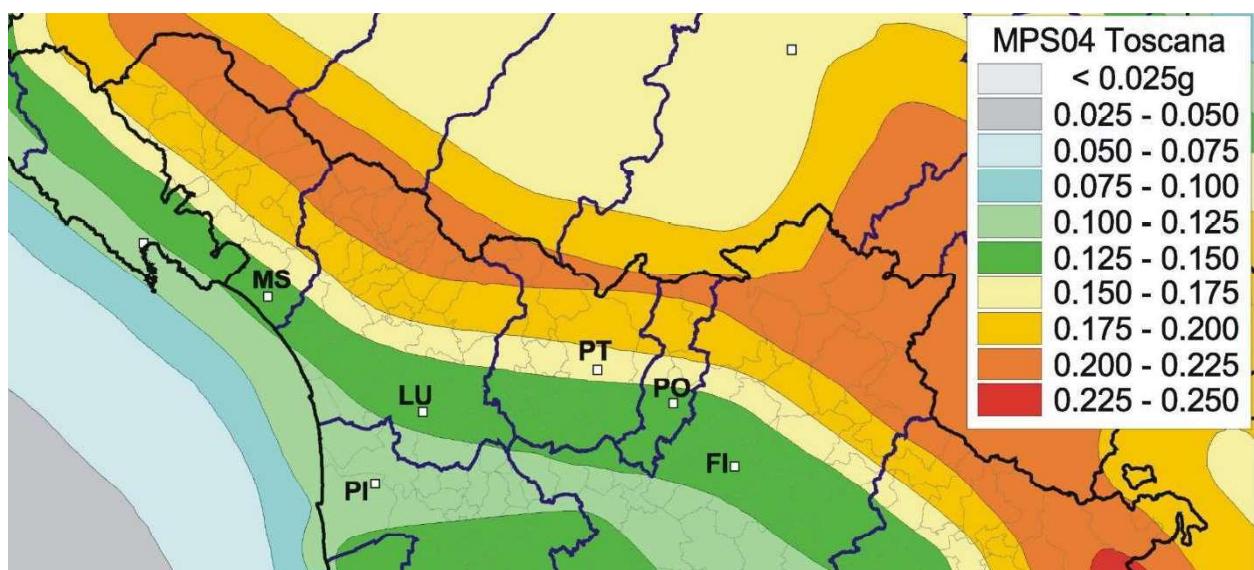
In tal senso, vengono reiterate le aree di salvaguardia delle risorse idriche (D.L. 152/99) già individuate nella Tav.6 del Vecchio Piano Strutturale. Che prevedevano una **zona di tutela assoluta** nelle immediate vicinanze dei campo pozzi; una **zona di rispetto** estesa ad un intorno significativo della parte di pianura e collinare dei tre campo pozzi; una **zona di protezione** comprendente tutta l'area collinare rimasta (TAV. GEO.04).



## 6 - ASPETTI SISMICI

Il comune di Vecchiano con Ord. P.C.M. n° 3274 del 20 marzo 2003 ricade in classe sismica 3, rimasta sino ad oggi invariata, con classe di rischio sismico 1 (bassa). I valori di accelerazione previsti per un tempo di ritorno pari a 475 anni sono compresi tra 0,100 e 0,125.

Con Deliberazione GRT n. 421 del 26.05.2014, (pubblicata sul BURT n. 22 del 04.06.2014 Parte Seconda), è stata approvata la classificazione sismica regionale, l'elenco dei comuni, nella quale il territorio del comune di Vecchiano è inserito in zona 3 per la quale è prevista una accelerazione orizzontale massima convenzionale al suolo  $ag = 0,119g$ .



Il comune di Vecchiano ricade all'interno della 916 Versilia-Chianti così come definita dal Rapporto Conclusivo per la Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica MPS04 (Gruppo di Lavoro 2004).



La Zona Sismogenetica 916, definita sulla base del modello sismotettonico di riferimento (Meletti, 2000), corre parallela al margine distensivo tirrenico ed è caratterizzata da una sismicità di bassa energia con profondità efficace media di 6 km e meccanismo di fagliazione prevalente normale (distensivo).

Per la ZS 916 la massima magnitudo osservata e censita da INGV nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI12 nella Zona Sismogenetica in questione, corretta con le osservazioni geologiche presenti in DISS2 è Mwmax1 = 5,68.

Nello stesso lavoro viene inoltre indicato il valore cautelativo di Magnitudo massima attesa Mwmax2 = 6,14, viste le incertezze del metodo. Magnitudo da prendere in considerazione per gli studi sismici sul territorio di Vecchiano.

## 6.1 - STUDI SISMICI

Il territorio di Vecchiano è oggetto di studi di Microzonazione sismica di livello 1 (MZS 1) basati sulla raccolta di dati esistenti e su apposite campagne di indagini geofisiche quali HVSR e SRT che hanno permesso la realizzazione della Carta geologico tecnica e la Carta delle MOPS, facenti parte del quadro conoscitivo del nuovo P.S. e base per la stesura della Carta della pericolosità sismica (TAVV. GEO.11 e GEO.12).

I dati di base, propedeutici per la stesura dello studio di MZS 1, sono stati raccolti e georeferenziati nella Carta delle indagini e dei dati di base (TAV. GEO.06):

- n° 602 penetrometrie (CPT, DSH, CPTU, DPM)
- n° 115 sondaggi geognostici a carotaggio continuo
- n° 38 stratigrafie di pozzi
- n° 94 indagini geofisiche lineari (WiDEPI, MASW, SRT, ERT)
- n° 79 indagini geofisiche puntuali (DOWNE-HOLE, HVSR)

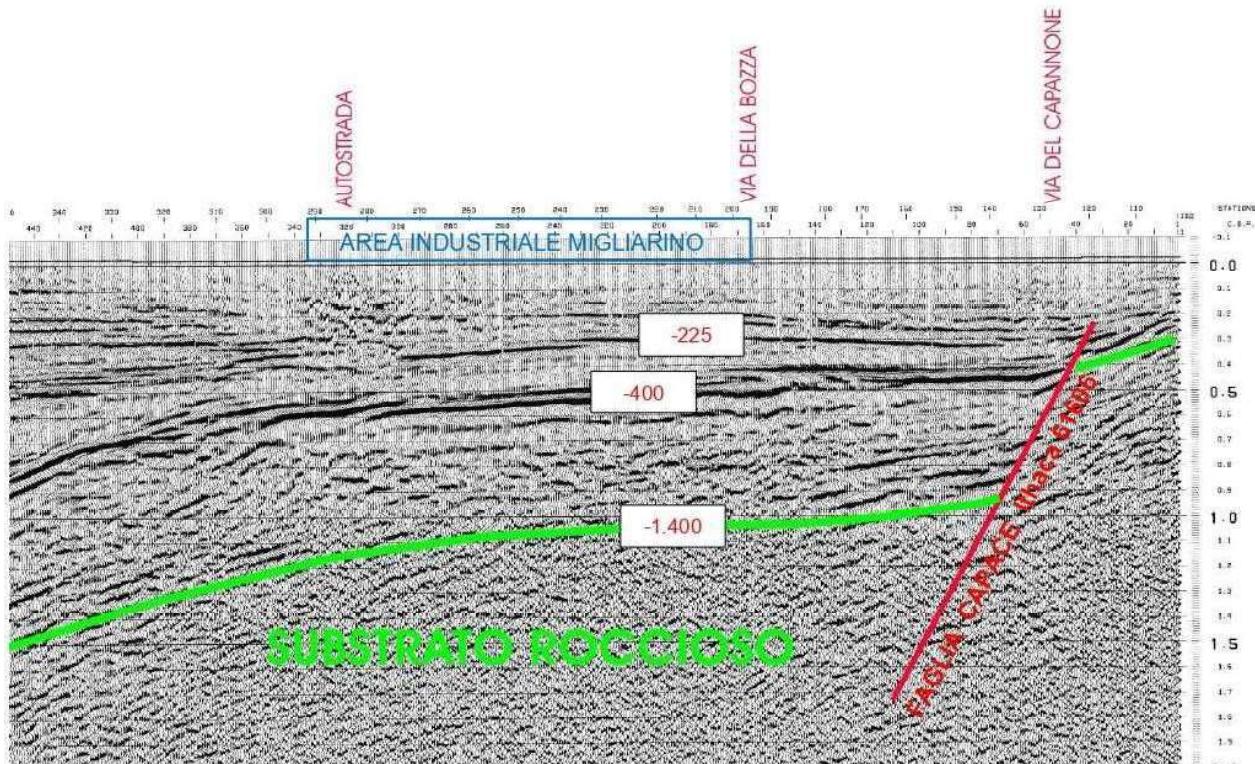
Di particolare importanza per la ricostruzione del modello geologico del sottosuolo, oltre le MASW e le SRT, sono state le n° 71 indagini HVSR e le sismiche a riflessione WiDEPI, con particolare riferimento alla 0041.

La raccolta e l'analisi de dati stratigrafici, sismici e geotecnici ha consentito una ricostruzione tridimensionale degli spessori dei sedimenti ricoprenti il bedrock. Gli spessori di tali sedimenti risultano aumentare progressivamente man mano che ci si allontana dalle pendici collinari e subiscono un brusco incremento in corrispondenza della faglia capace, a direzione appenninica, che passa tra la frazione di Nodica e quella di Vecchiano. Tale faglia diretta, a direzione nord-ovest sud-est, classificata nel Catalogo ITHACA come capace, ha ribassato il bedrock geologico di circa 1 km.

La sezione sismica a riflessione (ViDEPI PIC-05-89V), passante per l'area industriale di Migliarino, con direzione monti-mare e di lunghezza superiore ai 7 km, interessa tutto il tratto della pianura alluvionale. Su tale sezione, lato monte è visibile la faglia capace ITHACA 61606 che ribassa verso sud-ovest oltre che il bedrock geologico anche il bedrock sismico, con misure dei picchi di frequenza  $> 0,5$  Hz a nord-est della faglia, mentre a sud-ovest le frequenze sono generalmente  $< 0,35$  Hz, con eccezioni dovute alla presenza di livelli di ghiaie che generano fenomeni di contrasto di impedenza sismica significativa,  $> 2$ . Il bedrock geologico, a sud-ovest della faglia, è ubicato a profondità  $> 1.400$  mt.

La sottostante figura riporta l'interpretazione del profilo sismico a riflessione ViDEPI PIC-05-89V. Nei sedimenti marini e nelle alternanze con cicli emersi, più superficiali, sono individuabili

livelli di ghiaie che in alcuni casi raggiungono spessori considerevoli, con buona continuità laterale (livelli in nero) in grado di generare fenomeni di contrasto sismico e ai quali in tal caso corrisponde il bedrock sismico.



Nell'abitato di Nodica e di Migliarino e nell'Area Industriale di Migliarino, le frequenze derivanti dalle misure di HVSR variano generalmente tra valori di 0,31 – 0,34, valori che verosimilmente corrispondono a un bedrock sismico ubicato alla profondità di circa -225 mt, in corrispondenza di un livello di ghiaie con buona continuità laterale, profondità confermata anche dalla ricostruzione del modello sismico stratigrafico derivante dalla MASW (0013) e relativa misura HVSR realizzate nell'area industriale.

Eccezioni si riscontrano nell'abitato di Migliarino e nell'omonima area industriale a causa di un livello di ghiaie superficiali, con tetto variabile tra -36 e -43 mt che talvolta genera fenomeni di contrasto di impedenza sismica significativa e corrispondenza del bedrock sismico con tale livello di ghiaie.

In base ai dati stratigrafici/sismici raccolti, il bedrock sismico può essere pertanto distinto in 2 macroaree:

- fascia pedecollinare con spessori < 100 metri
- fascia di basso strutturale generalmente con spessori > 100 m.

Sulla base delle osservazioni geologiche, geomorfologiche e dell'acquisizione, valutazione ed analisi dei dati geognostici e geofisici, sono state individuate 29 microzone che sintetizzano gli effetti locali o di sito prodotti dall'azione sismica (TAV. GEO.12 Carta delle MOPS).

L'associazione dei dati delle MOPS con la litologia e gli aspetti geomorfologici e stratigrafici ha permesso la stesura della Carta della pericolosità sismica locale (TAV. GEO.14) del territorio comunale.

## 7.0 - LA SUBSIDENZA

Per subsidenza si intende ogni movimento di abbassamento verticale della superficie terrestre, indipendentemente dalla causa che lo ha prodotto, dallo sviluppo areale e dall'evoluzione temporale del fenomeno, dalla velocità di spostamento del terreno e dalle alterazioni ambientali che ne conseguono.

L'abbassamento del suolo può essere legato a cause naturali, quali i processi tettonici, i movimenti isostatici e le trasformazioni chimico-fisiche (diagenesi) dei sedimenti per effetto del carico litostatico o dell'oscillazione del livello di falda. Inoltre alcuni aspetti dell'attività antropica possono influenzare in modo considerevole il fenomeno o addirittura determinarne l'innesto.

La subsidenza indotta dall'uomo si esplica generalmente in tempi relativamente brevi (al massimo alcune decine di anni), con effetti che possono compromettere fortemente opere ed attività umane, nel caso in cui non si intervenga preventivamente con azioni di controllo e gestione. Le cause più diffuse sono essenzialmente lo sfruttamento eccessivo delle falde acquifere, l'estrazione di idrocarburi, le bonifiche idrauliche. Il grado di urbanizzazione e industrializzazione di un'area "sensibile" alla subsidenza può quindi sia influenzare tale fenomeno, sia esserne condizionato (definizione tratta da: ISPRA).

La subsidenza naturale sul territorio di Vecchiano riguarda:

- una fase antica corrispondente alla tettonica distensiva appenninica, che con una serie di faglie dirette ha ribassato la parte occidentale del territorio e che attualmente sembrerebbe essere esaurita;
- una fase ancora attiva che caratterizza alcune aree collinari dove fenomeni carsici potrebbero sviluppare in futuro potenziali crolli verticali (vedasi TAV. GEO.05).

La subsidenza indotta dall'uomo sul territorio risulta molto vasta ed è legata essenzialmente a due processi distinti: la bonifica idraulica e il sovrasfruttamento delle falde acquifere.

Agli inizi del '900 le aree palustri erano di poco al di sotto del livello medio marino, tali aree ad oggi, nella parte più depressa presentano quote di oltre 3,5 m al di sotto del l.m.m.. I terreni per lo più costituiti da depositi torbosi e argille organiche, sui quali gli oltre 100 anni di attività di bonifica hanno generato fenomeni di subsidenza molto spinta, che hanno portato, nell'area più depressa, ad un abbassamento medio dei terreni di circa 3,5 cm annui.

L'areale interessato da tale fenomeni di subsidenza risulta molto ampio e si estende dal lago sino oltre l'autostrada A11 e dalla statale Aurelia sino alla base collinare.

L'altro importante fenomeno di subsidenza è quello legato al sovrasfruttamento delle falde acquifere ad uso idropotabile e che in passato ha interessato alcune aree del territorio. Il comune di Vecchiano ospita infatti 3 importanti campo pozzi: Filettole, Vecchiano e Paduletto, che oltre a rifornire l'acquedotto locale contribuisce anche per quello di Pisa e Livorno.

In passato si sono verificati numerosi casi di lesioni agli edifici nelle vicinanze dei campo pozzi e delle quali si ripropone una ricostruzione storica nel sottostante capitolo

## **7.1 - RICOSTRUZIONE STORICA DEI DISEQUILIBRI INDOTTI DALLO SOVRASFRUTTAMENTO DELLA FALDA IDRICA**

### **Abitato di Filettole**

Nel periodo compreso tra la fine del 1969 ed i primi mesi del 1971, un gran numero di edifici ed altri manufatti (strade, ponti, ecc.) negli abitati di Ripafratta e Filettole subirono dissesti.

In particolare, nel novembre-dicembre 1969 si manifestarono dissesti in edifici ubicati in località Le Corti a Ripafratta, fenomeno che si estese, successivamente ad un fronte di circa 2 Km di lunghezza, lungo la sponda sinistra del fiume Serchio.

Poco tempo dopo (marzo 1970) analoghe lesioni si manifestarono a Filettole, anche in questo caso per una lunghezza di circa 2 Km.

Il fronte delle fratture esaminato in dettaglio assumeva nel complesso un andamento subparallelo all'asse della valle, ma si insinuava nelle vallecole laterali, mantenendosi al livello del piedemonte, dove i manufatti distribuiscono il carico su terreni di natura diversa e di diversa consistenza. Tuttavia, altre lesioni, seppure di modesta entità, furono riscontrate anche nella parte centrale della valle. Altra caratteristica del fenomeno fu che le lesioni erano molto più ampie alla sommità che alla base dei manufatti dissestati, conseguenza di cedimenti differenziali senza rottura dei terreni di fondazione.

Contemporaneamente all'evoluzione dei dissesti, si era verificato un elevato ed anomalo abbassamento o addirittura scomparsa dell'acqua nei pozzi privati nei centri abitati, attingenti la falda freatica causato dal forte abbassamento della falda artesiana che funzionava da tampone nei confronti delle falde freatiche laterali.

A partire da tale periodo, furono condotti studi specifici atti a valutare gli effetti dell'abbassamento della falda sul comportamento meccanico dei terreni e per mostrare la connessione tra emungimenti e dissesti. Furono realizzati sondaggi geognostici (nel numero di 8), prelievi di campioni di terreno, analisi di laboratorio, allestimento di spie sugli edifici ritenuti più significativi, il tutto promosso dai Comuni di Vecchiano e di S. Giuliano Terme.

Gli studi condotti portarono a definire che l'escursione della falda tra il giugno 1969 ed il marzo 1971 di complessivi 8 metri (da 5 a 13 metri), aveva interessato gli strati limo argillosi compresi tra tali quote e quelli ad esse sottostanti e che pertanto si era avuto un cedimento complessivo del terreno di circa 12 centimetri.

Alla luce di quanto sopra, fu deciso di individuare dei pozzi indicativi per la verifica dei livelli della falda nella zona depressa dall'emungimento.

In data 27/12/71 l'Ufficio Speciale del Genio Civile per il Servizio Idrografico di Pisa ritenne opportuno riferire i livelli della falda a quelli osservati al piezometro XVII, in quanto posto nel centro della zona in emungimento ed a brevissima distanza dall'abitato di Ripafratta, senza peraltro essere esso stesso in emungimento.

Gli studi ed i rilievi effettuati negli anni successivi consentirono di ricavare la stretta connessione tra i dissesti e gli abbassamenti del livello piezometrico della falda tanto che per richiesta del Genio Civile di Pisa fu stabilita una quota di sicurezza del livello stesso da non oltrepassare.

Tale quota a partire dal gennaio 1972 era quella di -4,0 metri riferita al livello medio del mare, registrata al piezometro XVII.

A partire dal 1972 il rispetto della quota di cui sopra fu affidato alla Commissione Approvvigionamento Idrico del Comprensorio Pisa-Livorno-S. Giuliano Terme-Vecciano che

curava la gestione degli emungimenti a Filettole. Negli anni successivi, in connessione con lo stabilizzarsi del livello piezometrico della falda, si notò una progressiva riduzione dei dissesti fino ad una loro pressoché completa stabilizzazione.

Tuttavia, verificando una lieve ripresa dei movimenti in corrispondenza degli abbassamenti del livello al pozzo spia XVII al di sotto di 3,5 metri sotto il l.m.m. (come nel dicembre 1973), fu suggerito nel 1975 che la quota di sicurezza fosse alzata, per cautela, di almeno 50 centimetri e cioè pari a - 3,5 metri sotto il l.m.m. (pari a - 18,13 metri da boccapozzo).

Verso la fine dell'anno 1997 (novembre-dicembre) fu osservato il verificarsi di alcune lesioni su abitazioni ubicate nel centro dell'abitato di Filettole e pertanto fu deciso il posizionamento di spie di controllo lungo fratture ritenute significative per poter procedere ad osservazioni sul loro andamento. Il fenomeno sembrò essere limitato ad un breve periodo.

In quella occasione si cercò di valutare gli eventuali scostamenti del livello della falda, negli ultimi mesi del 1997, rispetto a quello stabilito come "di sicurezza" negli studi suindicati. In tal senso, consultando gli elaborati relativi ai livelli piezometrici del pozzo XVII, si evinse che a partire già dall'agosto 1997 (verso la seconda decina del mese) il livello della falda aveva superato il livello critico suindicato.

Tale situazione, inizialmente per qualche ora al giorno, nei mesi di settembre-ottobre 1997, implicava il superamento di tale valore per diverse ore e verso la fine di ottobre si era arrivati anche a superamenti nell'arco dell'intera giornata (il giorno 28 ottobre), fino a toccare il livello - 18,46 da boccapozzo.

A partire dal 31 ottobre fino al 5 novembre gli emungimenti comportarono sempre l'abbassamento della falda oltre il livello previsto, nell'arco delle 24 ore per ciascun giorno, fino a raggiungere la quota - 18,52 da boccapozzo (circa 40 centimetri oltre il livello di sicurezza). Negli anni 1996-1998, in definitiva, il livello della falda era andato progressivamente abbassandosi nonostante gli emungimenti fossero stati più ridotti rispetto, ad esempio alla crisi del 1986-87.

Fino al settembre 1998, il livello misurato al piezometro XVII era sempre stato prossimo al valore limite previsto, sebbene non fosse stato superato e così fino alla fine dell'anno 1998.

Intanto il livello misurato al piezometro XVII rimaneva al limite fino a che, a partire dal gennaio 1999, per una settimana circa, il livello limite veniva superato per diverse ore al giorno. Nel mese di febbraio la situazione migliorava con un ulteriore incremento della falda nei successivi mesi di marzo e di aprile e con un andamento costante fino al giugno 1999. Nel mese di luglio, il livello al piezometro XVII accertava nuovamente un abbassamento della falda, tanto che a partire dalla seconda metà di luglio, fino alla prima metà di agosto 1999, il livello venne superato per diverse ore della giornata, anche di 30 centimetri.

Dopo tale periodo, il livello della falda aumentava progressivamente nel tempo, determinando una fase di ricarica della falda, fino alla fase in cui fu effettuato lo studio, caratterizzata da valori della falda al piezometro XVII, non superiori a 11 metri dal boccapozzo (febbraio 2001).

Tale situazione era senz'altro da imputare ad un incremento delle precipitazioni metereologiche avvenute negli ultimi due anni (i dati relativi all'ultimo trimestre 1999 e 2000 per il pluviometro di Ripafratta, evidenziavano un incremento di piovosità nel mese di novembre tra i due anni di oltre il doppio).

Secondo uno studio effettuato dallo Studio G.E.A. di Vecchiano nel 1999 per l'ASA di Livorno, relativo all'osservazione di 27 anni di dati di livelli piezometrici e livelli del fiume, tale momento

(1999) avrebbe rappresentato la fine di una fase di abbassamento della falda, a cui sarebbe succeduta una ulteriore fase di incremento. L'osservazione dei livelli della falda del campo piezometrico allestito a Filettole, nel corso di 18 mesi, ed il confronto dei dati misurati al piezometro XVII (dati forniti dall'Ufficio Idrografico di Pisa) consentirono, almeno per il settore dell'abitato nel centro del paese (circolo ACLI) la ricostruzione del comportamento della falda nell'arco di più stagioni con la conclusione che esiste un collegamento tra falda profonda, utilizzata a scopo acquedottistico, con il sistema idrogeologico più superficiale che, come abbiamo già riferito, riesce ad organizzarsi all'interno dei livelli sabbiosi presenti a varie profondità, ma che comunque determinano un collegamento con la falda profonda e dunque subiscono una influenza per quanto attiene le oscillazioni piezometriche di quest'ultima.

E' chiaro che in tale contesto i pozzi più superficiali risentono anche di contributi metereologici locali. In ogni caso, il confronto dell'andamento grafico tra i due diversi gruppi di pozzi identificativi di una circolazione più superficiale ed una più profonda, sono molto simili, se come si diceva, si fa astrazione delle oscillazioni dovute a contributi metereologici locali.

E' verosimile pensare, dunque, che in periodi particolarmente favorevoli la falda abbia un innalzamento fino ad arrivare a livelli molto superficiali (il pozzo PP1 all'epoca dello studio presentava valori del livello piezometrico a circa 6 metri da p.d.c.) e che determini un "rigonfiamento dei terreni" argillo-limosi e torbosi presenti a varie profondità ed intercalati agli strati sabbiosi immersi in acqua.

A seguito di una successiva fase di abbassamento piezometrico tali sedimenti subiscono una compressione, dando luogo a cedimenti del terreno che possono in molti casi interessare anche le strutture presenti al di sopra.

Guardando alla situazione stratigrafica all'intorno degli edifici in questione (ACLI e limitrofi), le prove PP7 e PP5 evidenziavano la presenza di sedimenti particolarmente compressibili già a livelli molto superficiali, presumibilmente già a livello fondazionale, particolarmente suscettibili ad un comportamento analogo a quello descritto, in coincidenza delle escursioni del livello piezometrico.

In occasione dello studio si era cercato anche di ricavare ulteriori informazioni tra la popolazione, dalla quale era emerso che già in occasione degli eventi degli anni '70 si erano aperte crepe negli edifici in questione, in un primo momento imputate al passaggio dei camion, impiegati nell'attività di cava presente all'epoca nel paese, che non potevano utilizzare altra viabilità che non quella interna al paese.

Tale situazione spiegherebbe anche perchè le pubblicazioni geologiche dell'epoca riportavano solo di lesioni avvertite nella zona esterna all'abitato di Filettole (alle pendici dell'area collinare) e a Ripafratta. Analoghe considerazioni possono essere svolte anche per il settore dell'abitato in prossimità della Croce, seppure la notizia di nuove aperture è stata successiva a quella della zona centrale di Filettole e pertanto le osservazioni dei livelli piezometrici sono avvenute successivamente.

Fermo restando la necessità di continuare le osservazioni almeno in questo settore dell'abitato, le indagini geotecniche effettuate confermavano la presenza di sedimenti estremamente compressibili anche in tale zona, già a livello superficiale con conseguente possibilità di cedimenti dei terreni in coincidenza di fluttuazioni del livello piezometrico.

Tale situazione necessita comunque di un maggior approfondimento, dal momento che la zona è interessata anche da sedimenti tipici di conoidi che possono essere più o meno in continuità con quelli alluvionali del Serchio. Un'ultima considerazione riguarda la fascia di terreno presente

sopra il livello della falda che è interessata anch'essa dalla presenza di acqua contenuta nei pori che costituisce l'umidità del terreno la cui origine è dovuta alla tensione capillare dell'acqua.

La variazione del livello della falda porta un evidente squilibrio nel rapporto pressioni/reazioni con possibile cedimento di una struttura. Tale situazione può essere rappresentativa della zona di indagine, relativamente ai livelli molto superficiali dei terreni, che come abbiamo visto sono interessati anche da una componente organica.

L'azione di drenaggio delle acque superficiali determinata dalla realizzazione della rete fognaria, così come in questi ultimi anni risulta essere stata effettuata, può aver determinato una ulteriore modifica del grado di umidità dei terreni, soprattutto a livello fondazionale che possono aver subito un loro ulteriore assestamento.

Il fatto comunque che le segnalazioni di riapertura delle fratture avvennero immediatamente a seguito di periodi in cui l'emungimento della falda aveva determinato il superamento del livello limite previsto, lascia pochi margini di incertezza sul ritenere che il fenomeno sia analogo a quello avvenuto in altre circostanze in cui tale valore non era stato rispettato.

Pertanto, nella fase attuale è possibile affermare che il rispetto di tale valore debba avvenire in qualsiasi momento dell'anno, a scapito eventualmente di una riduzione delle portate di emungimento.

Una ulteriore fase di attività potrebbe consistere nel verificare la validità del valore critico adottato fino ad oggi anche in questo settore dell'abitato, dal momento che il valore di 18,13 dal boccapozzo del piezometro XVII era stato ricavato dall'osservazione delle fratture riguardanti gli edifici posti nel settore pedecollinare. Inoltre, varrebbe la pena di controllare le eventuali variazioni topografiche subite dal riferimento piezometrico (piezometro XVII) che a noi risulta non essere mai state effettuate, sebbene anche da parte delle Autorità competenti, in periodi pregressi sia stata riconosciuta la necessità di effettuare periodicamente tale controllo. Le considerazioni sopraesposte portano comunque a ritenere necessario uno stretto controllo degli emungimenti ad uso acquedottistico e del comportamento geotecnico dei terreni, eventualmente posizionando spie di controllo graduate facilmente leggibili da tecnici del settore. Inoltre, sarebbe auspicabile la realizzazione di un piezometro di controllo automatizzato ubicato tra la zona degli acquedotti e l'abitato di Filettole, rappresentativo della situazione piezometrica in un'area non influenzabile dai raggi di azione dei pozzi stessi.

## Abitato di Vecchiano

Nel 1975 fu affidato allo Studio GEOSTUDIO dei Dott. Chines e Nolledi da parte del Comune di Vecchiano l'incarico per comprendere la dinamica degli eventi che determinarono il verificarsi di cedimenti del terreno con conseguenti lesioni in edifici posti nell'abitato di Vecchiano. Una ricostruzione storica nelle aree di indagine portava a testimoniare la presenza in passato di sorgenti presso il Paduletto e la Fornace di Vecchiano che costituivano l'emergenza di una vasta falda acquifera contenuta dentro l'ammasso calcareo. La portata di tali sorgenti perenni aumentava decisamente dopo periodi di piovosità e le acque emergenti, che anticamente impaludavano la pianura, erano state successivamente canalizzate nelle opere di bonifica della zona e convogliate verso il Lago di Massaciuccoli.

Osservazioni condotte in passato sui livelli di tali punti di emergenza e su varie grotte del complesso calcareo avevano confermato la diretta comunicazione tra le diverse parti. Tale falda

acquifera fu sottoposta ad osservazioni a partire dall'ottobre 1961, realizzando due idrometroografi in corrispondenza delle due sorgenti.

Nel 1962 in corrispondenza della sorgente presso la Fornace fu terebrato un pozzo per l'Acquedotto comunale di Vecchiano che prelevava in media 10 l/s con pompa in aspirazione. Dal settembre 1965 all'agosto 1972 furono sospese le misurazioni di falda, mentre i prelievi all'Acquedotto di Vecchiano subirono un incremento da 10 l/s a 30 l/s.

Nell'agosto 1972 fu iniziato il prelievo in località Paduletto ad opera dell'Acquedotto Pisa-Livorno, con un emungimento medio di 160 l/s. A seguito dell'inizio di tali emungimenti fu accertato il collegamento idrogeologico tra le zone del Paduletto e della cava Masoni con quella delle Case Rosse e di Monte Niquila a causa della scomparsa di alcune sorgenti perenni poste proprio a Case Rosse. La connessione idrogeologica tra questi due settori fu poi accertata da ulteriori studi di carattere geologico, idrogeologico e geochimico.

A partire da questi anni gli emungimenti dai due Acquedotti aumentano con una progressiva depressione della falda che da una quota iniziale di m 3,5 sotto il relativo punto di riferimento arriva nell'agosto del 1973 a m 6,38. Successivamente, a seguito di periodi piovosi, la falda si ricarica, raggiungendo quota m 3,46, a cui seguono periodi diversi di ricarica e depressione, a seconda dei cicli metereologici.

Nel settembre 1973 in alcune abitazioni di Vecchiano si verificano i primi segni di lesionamento e pertanto a partire dal 1974 vengono posizionate spie di controllo in corrispondenza delle lesioni di tali edifici, monitorate assieme al controllo degli andamenti della falda.

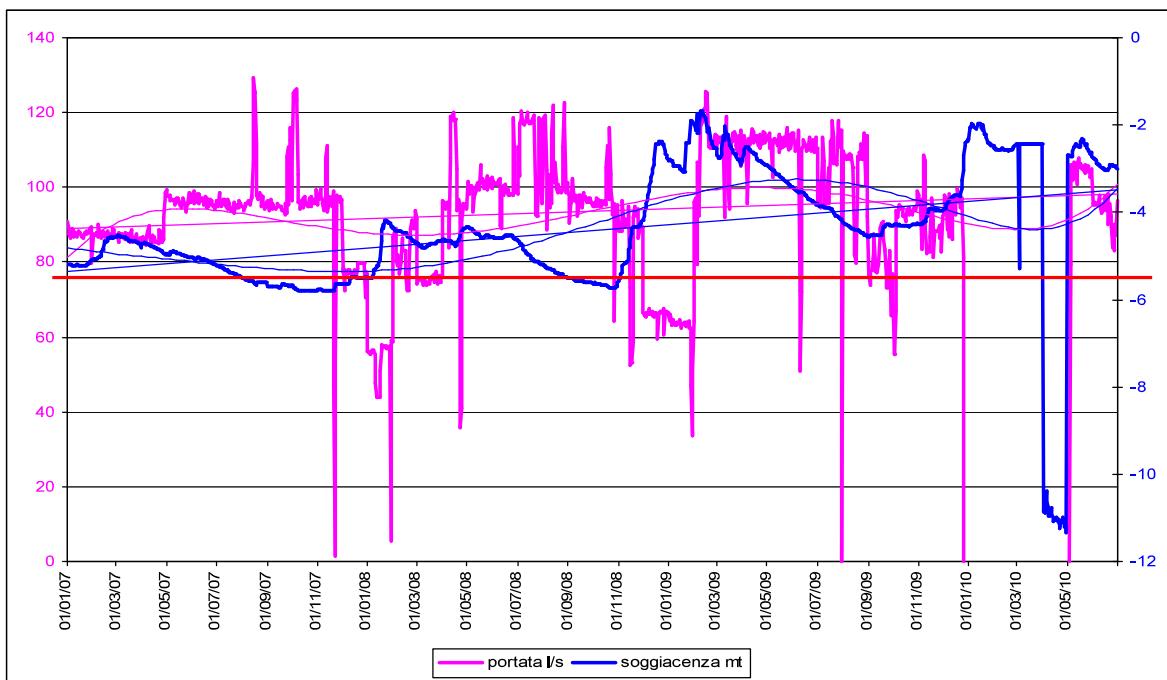
Tali edifici, posti lungo la via del Fontanaccio a Vecchiano, presentarono lesioni che si diffusero lungo un fronte di circa 150 metri. Tali edifici erano posti al piede del monte, laddove le alluvioni sono prossime alla roccia in posto ed i fabbricati distribuiscono il carico su terreni di diversa struttura e consistenza. Tali fenomeni, simili a quelli riscontrati a Filettole e Ripafratta furono connessi con l'abbassamento della falda provocato dall'entrata in funzione dei nuovi pozzi dell'Acquedotto di Pisa-Livorno.

L'esame comparato degli scostamenti alle spie di controllo e dei livelli di falda evidenziava che la ripresa dei fenomeni di dissesto si verificava quando i livelli stessi si abbassavano al Paduletto al di sotto di m 5,5 dalla quota di riferimento ed alla Fornace al di sotto di m 7,0 dalla bocca del pozzo di lettura. Pertanto gli studi condotti all'epoca auspicarono che gli emungimenti nei due acquedotti fossero adeguati al rispetto di tali livelli, da considerarsi come livelli di guardia.

Nel corso del 2010 furono segnalate la ripresa di lesioni murarie ad edifici ubicati in Via del Paduletto all'intorno della località Fornace.

Nell'archivio comunale furono reperiti i dati, inviati da ASA, relativi al livello della falda e i quantitativi di acqua prelevata, dagli impianti di captazione del Paduletto per il periodo 1 dicembre 2006 al 30 giugno 2010. Tali dati informatizzati sono schematicamente rappresentati nella figura sottostante.

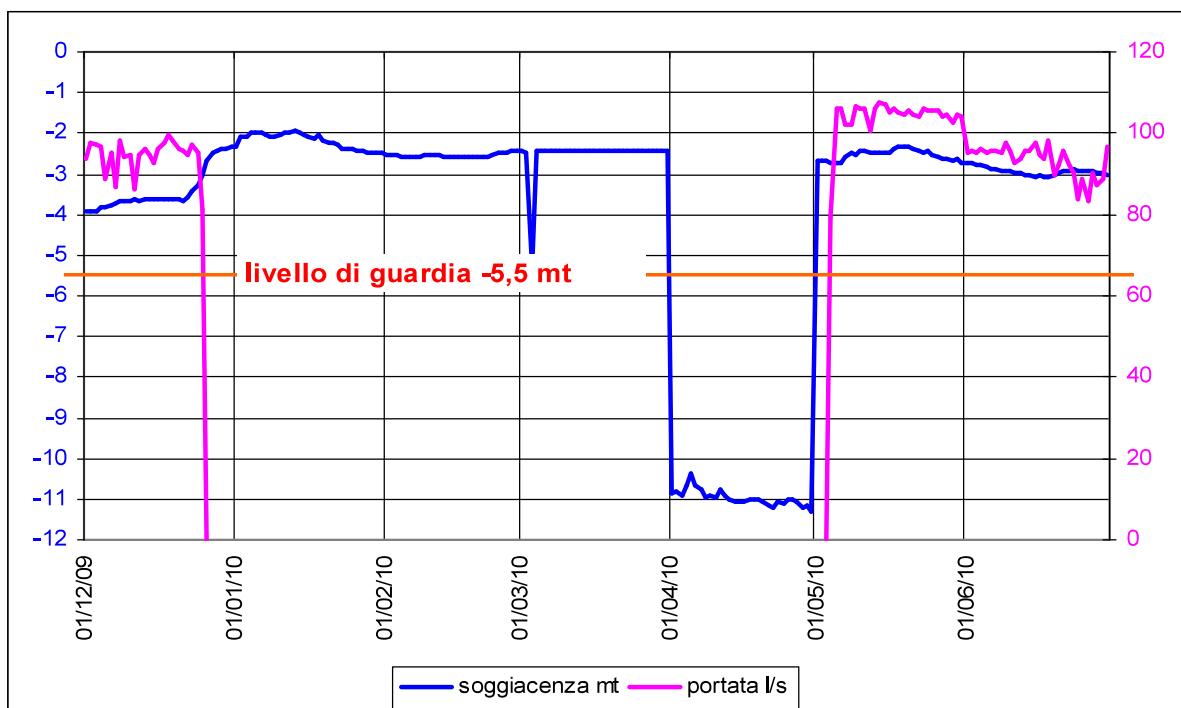
Dal grafico emergeva con nettezza la corrispondenza tra i picchi di prelievo e l'abbassamento, pressoché immediato, della falda e viceversa.



Al di là del superamento del livello di guardia nel 2007 e 2008, di particolare interesse risulta ciò che è avvenuto dal 26 dicembre 2009 al 4 maggio 2010.

Il 25 dicembre 2009, tra Nodica e Migliarino, la condotta idrica che conduce l'acqua del Paduletto a Livorno e che in quel tratto passa interrata a pochi metri dall'argine, è stata interrotta dal flusso d'acqua dovuto alla rottura arginale del fiume Serchio e per lavori di riparazione è rimasta interrotta sino al 5 maggio 2010.

All'interruzione del pompaggio avvenuta il 26 dicembre è seguito un repentino innalzamento della falda, che grazie anche alle abbondanti precipitazioni che hanno caratterizzato gli ultimi tre anni ha raggiunto e mantenuto per alcuni mesi il livello record di risalita tra -2.0 e -2.5 mt.



Dal grafico emerge chiaramente, che mentre nella condotta idrica, per oltre quattro mesi non è stata immessa acqua, dall'1 aprile al 2 maggio sono stati effettuati cospicui emungimenti, probabilmente dovuti allo "spurgo" dei pozzi prima della loro re immissione in rete.

In tale periodo, il livello della falda ha di molto superato il livello di guardia di -5.5 mt, fissato nel 1975 a seguito delle lesioni subite dalle abitazioni, oscillando per un mese a -11.0 mt.

Per quanto detto, tenuto conto di quanto già espresso da Nolledi e Chines nel 1975 e considerata l'elevatissima trasmissività dell'acquifero carbonatico, è probabile che tale emungimento abbia generato un anomalo abbassamento della falda anche in località Fornace, con conseguente diminuzione della pressione interstiziale nei pori dei litotipi a granulometria fine sui quali sono fondate le abitazioni e di conseguenza innescando cedimenti dei terreni che hanno indotto le lesioni negli edifici.

## 8 - LA PERICOLOSITA' GEOLOGICA DEL TERRITORIO

### UTOE 1 della PIANURA COSTIERA DEL PARCO NATURALE

In questa fascia la pericolosità geologica prevalente, corrispondente ai cordoni dunali, è di grado medio G.2, mentre raggiunge il grado elevato G.3 nella gola del fiume Serchio e molto elevata G.4 in corrispondenza della spiaggia attuale, sottoposta a possibili rischi di mareggiate e nei depositi delle lame per caratteristiche geotecniche estremamente scadenti.

### UTOE 2 della PIANURA ALLUVIONALE

La pericolosità geologica, variabile da molto elevata G.4, nei depositi torbosi vicini lago, a elevata G.3 nella parte più distale, in quest'area è condizionata dalle caratteristiche geotecniche di alta compressibilità dei terreni unita ad elevata eteropia sia laterale che verticale, comportanti elevati sedimenti differenziali e la frequente necessità dell'adozione di fondazioni profonde.

### UTOE 3 della PIANURA DEL SERCHIO

La pericolosità geologica prevalente risulta di grado medio G.2 con eccezione dell'area golenale classificata elevata G.3 e delle aree in adiacenza ai campi pozzi, interessate in passato da fenomeni di subsidenza come conseguenza di un emungimento incontrollato della falda: area del campo pozzi di Filettole e quelle del: campo pozzi di Vecchiano e del Paduletto, quest'ultima classificata in molto elevata G.4 per fenomeni evidenti di subsidenza in atto nel suo intorno.

### UTOE 4 delle AREE COLLINARI

La pericolosità geologica prevalente corrisponde a quella elevata G.3, corrispondente alle frane quiescenti e al detrito di versante che presenta potenziale instabilità per litologia e grado di inclinazione.

La pericolosità geomorfologica G.4 nella parte calcarea è rappresentata dalle aree ad elevato degrado geofisico, corrispondenti alle aree di cava, alle aree altamente fratturate e quelle interessate da potenziali fenomeni di crollo. Mentre nella parte non calcarea la pericolosità G.4 è quella corrispondente alle frane attive, che in alcuni casi interessano lo stesso edificato della frazione di Filettole.

#### PERICOLOSITA' GEOLOGICA



## 9 - LA PERICOLOSITA' SISMICA DEL TERRITORIO

Il comune di Vecchiano è stato con Ord. P.C.M. n° 3274 del 20 marzo 2003 in classe sismica 3, rimasta sino ad oggi invariata, con classe di rischio sismico 1 (bassa). I valori di accelerazione previsti per un tempo di ritorno pari a 475 anni sono compresi tra 0,100 e 0,125.

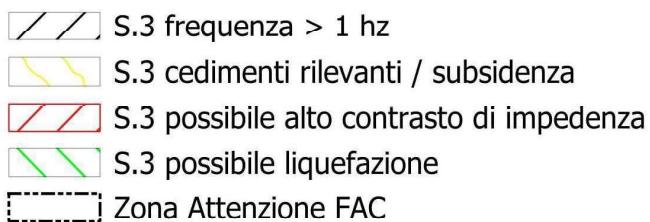
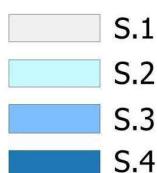
Il territorio di Vecchiano è oggetto di studi di Microzonazione sismica di livello 1 (MS 1) basati sulla raccolta di dati esistenti e su apposite campagne di indagini geofisiche quali HVSR e SRT che hanno permesso la realizzazione della Carta geologico tecnica e la Carta delle MOPS, facenti parte del quadro conoscitivo del nuovo P.S. e base per la stesura della Carta della pericolosità sismica.

Una pericolosità sismica legata in gran parte a quella geologica, per l'area collinare, ove la G.3 e la G.4 collimano con la pericolosità sismica elevata S.3 e molto elevata S.4. In sintesi una pericolosità sismica S.3 corrispondente alle frane quiescenti e al detrito di versante che presenta potenziale instabilità per litologia e grado di inclinazione e una pericolosità S.4 corrispondente alle frane attive.

Nell'UTOE 1 della PIANURA COSTIERA, è prevalente la pericolosità sismica S.2, mentre per tutte le altre aree pianeggianti, ad eccezione delle aree umide afferenti il lago classificate in S.4, la classe sismica prevalente è quella elevata S.3.

La classe simica S.3 attribuita alle aree di pianura, oltre che derivante dalle caratteristiche geotecniche scarse di certe tipologie di terreni, in grado di indurre cedimenti rilevanti e/o vasti fenomeni di subsidenza, è strettamente legata al comportamento sismico di alcune tipologie di terreni: frequenza  $> 1\text{hz}$ , contrasto di impedenza e possibili fenomeni di liquefazione. Inoltre è stata attribuita una classe minima S.3 all'area di buffer afferente le due faglie capaci, a direzione appenninica, presenti sul territorio comunale, in attesa di studi di approfondimento futuri.

### PERICOLOSITA' SISMICA



## 10 - DOCUMENTAZIONE CARTOGRAFICA PRESENTATA

La sottostante tabella sintetizza la documentazione cartografica di corredo al Nuovo Piano Strutturale, in parte come quadro conoscitivo e in parte come statuto.

Le tavole in PDF, prodotte in un unico foglio o dove necessario i due fogli, est ed ovest, sono state realizzate in scala 1:10.000.

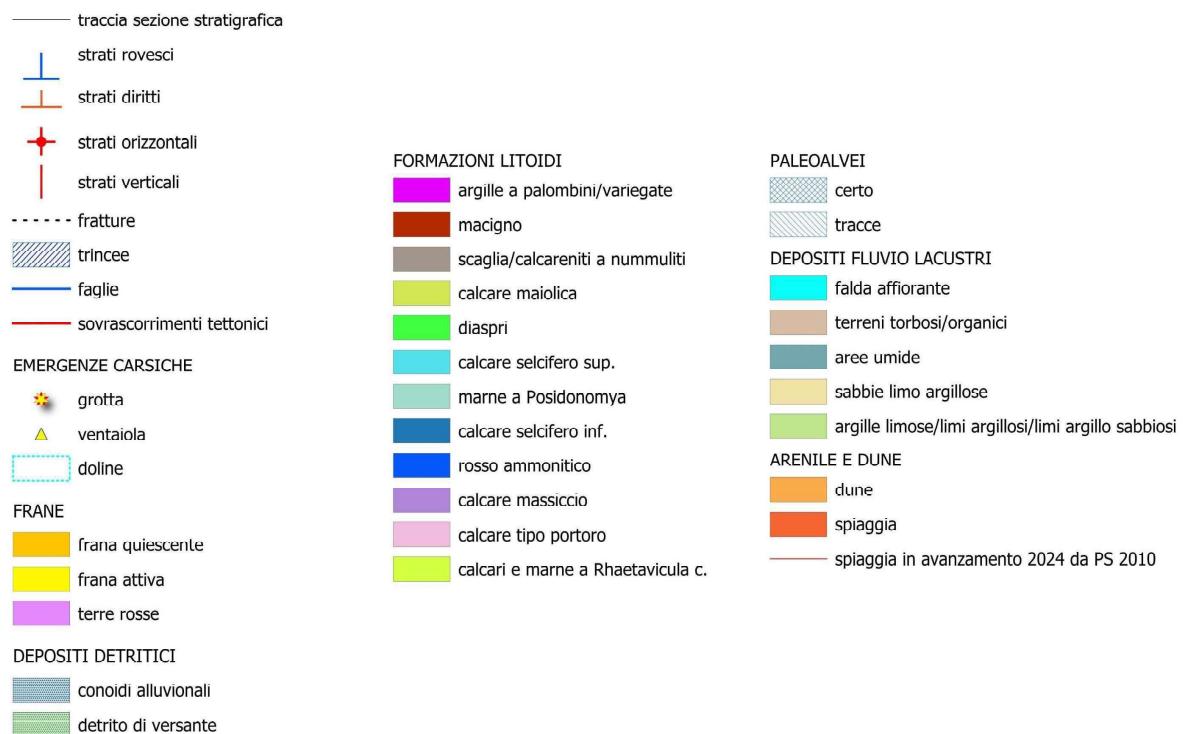
E' stata inoltre rappresentata la stessa cartografia nel formato immagine JPG, in scala 1:12.000, in maniera tale da rappresentare l'intero territorio per una consultazione agevolata da PC.

Sigla Elaborato	Titolo	N° fogli	Scala
GEO.00	Relazione tecnica illustrativa		
	<b>QUADRO CONOSCITIVO</b>		
GEO.01	Carta geologica	2	1:10.000
GEO.02	Carta geomorfologica	2	1:10.000
GEO.03	Carta delle aree depresso	1	1:10.000
GEO.04	Carta vulnerabilità idrogeologica e aree di salvaguardia	2	1:10.000
GEO.05	Carta delle deformazioni del terreno (interferometria satellitare)	2	1:10.000
GEO.06	Carta delle indagini e dei dati di base	2	1:10.000
GEO.07	Carta dei conoidi di Melton	1	1:10.000
GEO.08	Carta delle pendenze	1	1:10.000
GEO.09	Carta dell'Indice Potenziale di Liquefazione	2	1:10.000
GEO.10	Carta delle frequenze naturali dei depositi	1	1:10.000
GEO.11	Carta geologico-tecnica	1	
GEO.11 sezioni	Sezioni geotecniche	1	1:10.000
GEO.12	Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)	1	
	<b>STATUTO</b>		
GEO.13	Carta della Pericolosità Geologica		1:10.000
GEO.14	Carta della Pericolosità sismica locale		1:10.000

## **CARTA GEOLOGICA (GEO.01)**

La carta geologica rappresenta la sintesi stratigrafica, tettonica e mineralogica dei litotipi affioranti e delle loro coperture, nonché dei depositi sedimentari che hanno originato la pianura.

Un territorio collinare caratterizzato dalla serie Toscana non metamorfica sormontata tettonicamente dalla serie basale delle Unità liguri nella parte settentrionale. Il calcare massiccio è la formazione litoide più estesa ed ospita diffusi fenomeni carsici: doline, grotte, ventaiole, scannellature. Un territorio interessato da faglie dirette originate dalla distensione appenninica, delle quali due classificate come capaci nel catalogo ITHACA. Un'area di pianura caratterizzata da un'ampia fascia dunale nella parte più occidentale e da sedimenti fluvio palustri che hanno colmato tale fascia, caratterizzati da elevata eteropicità sia laterale che verticale conseguente ai numerosissimi tracciati fluviali abbandonati.



## CARTA GEOMORFOLOGICA (GEO.02)

La carta geomorfologica proviene dalla rielaborazione di quella a corredo del vecchio PS, con i necessari aggiornamenti dovuti alle nuove conoscenze a seguito di sopralluoghi di approfondimento.

Dal punto di vista della franosità è stata aggiornata e resa conforme a quanto previsto nel progetto di PAI “dissesti geomorfologici”, che la Conferenza Istituzionale Permanente ha adottato con delibera n. 39 del 28 marzo 2024 in via definitiva il PAI dissesti e con delibera n. 40 del 28 marzo 2024 le relative misure di salvaguardia. Con la pubblicazione dell'avviso di adozione nella Gazzetta Ufficiale n.82 del 8 aprile 2024 sono entrate in vigore le misure di salvaguardia.

Partendo dall'area collinare, sono evidenziate le aree interessate da frane quiescenti e frane attive, queste ultime presenti per lo più sopra l'abitato di Filettole e legate essenzialmente alla presenza di aree detritiche, su versanti acclivi, che implicano il riattivarsi di detti fenomeni in occasione di eventi metereologici importanti.

Altro aspetto importante che invece riguarda la pianura ed in particolare l'area della bonifica, è la grande estensione di sedimenti comprimibili, responsabili dei grandi cedimenti che si sviluppano nell'area, tali da determinare fasce depresse al di sotto del limite medio marino, evidenziate nella Tav. GEO.03.

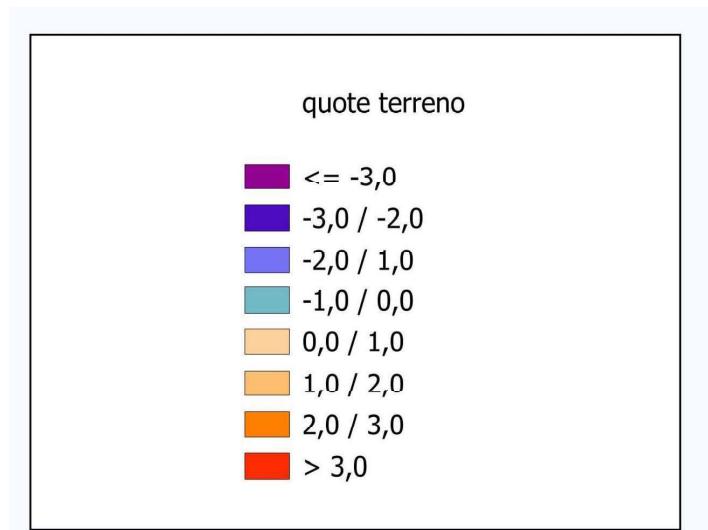
### CARTA GEOMORFOLOGICA



### CARTA DELLE AREE DEPRESSE (GEO.03)

Il territorio di Vecchiano presenta una vasta superficie di aree al di sotto del livello marino, che si estende ad est dell'autostrada A12 sino ai rilievi collinari e a sud del lago sino a via Traversagna.

Tale area, già depressa di alcuni decimetri pre-bonifica, attualmente nella parte più depressa supera i -3,5 m. Tale depressione è dovuta alla subsidenza dei terreni torbosi presenti come conseguenza del mantenimento del franco di bonifica, subsidenza ancora in atto con abbassamenti dei terreni di circa 3,5 cm/anno.



## CARTA DELLA VULNERABILITA' IDROGEOLOGICA E AREE DI SALVAGUARDIA (GEO.04)

Nel sottosuolo del territorio di Vecchiano sono presenti due sistemi di acquiferi differenti identificabili in:

- un sistema acquifero alluvionale costituito da un sistema di falde freatiche ed in pressione all'interno dei sedimenti ghiaiosi e sabbiosi dei depositi alluvionali del Serchio, in cui la ricarica è in parte determinata direttamente dal fiume ed in parte mediante precipitazione meteorica, attraverso infiltrazione diretta e ruscellamento dai versanti delle aree collinari e da ricariche profonde laterali dei conoidi detritici;
- un sistema acquifero calcareo che comprende le falde profonde presenti nel calcare massiccio e nella maiolica. La circolazione idrica si sviluppa in corrispondenza della presenza di fratture e l'alimentazione è prevalentemente dovuta alla ricarica per infiltrazione diretta di acqua meteorica.

La cartografia, redatta per la protezione degli acquiferi descritti, propone la classificazione della vulnerabilità idrogeologica del territorio in base alle caratteristiche di permeabilità delle formazioni litoidi costituenti i rilievi collinari, delle loro coperture e quella dei sedimenti costituenti la pianura. E pertanto una valutazione della possibilità di un inquinante di propagarsi in falda in funzione della permeabilità dei suoli. Per i dettagli si rimanda a quanto già espresso nel capitolo “CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE DEL TERRITORIO COMUNALE” e dove si adducono anche le motivazioni delle scelte delle aree di salvaguardia acquedottistica.

### VULNERABILITA' IDROGEOLOGICA

- pozzi acquedotto
- sorgenti periodiche
- isofreatica

### AREE DI SALVAGUARDIA ACQUEDOTTI

-  zone di tutela assoluta
-  zone di rispetto
-  zone di protezione

### CLASSI VULNERABILITA'

-  1 irrilevante
-  2 bassa
-  3A medio bassa
-  3B media
-  4A medio elevata
-  4B elevata

## CARTA DELLE DEFORMAZIONI DEL TERRENO (interferometria satellitare) (GEO.05)

Per la sua realizzazione sono stati utilizzati i dati della regione Toscana, aggiornamento 15/10/2023, derivanti dal monitoraggio in continuo delle deformazioni del terreno regionale tramite interferometria radar satellitare.

L'interferometria radar satellitare si basa sull'analisi di lunghe serie di immagini SAR (Synthetic Aperture Radar) acquisite da piattaforma satellitare sulla stessa area in tempi diversi, in modo da consentire misurazioni non invasive e ad alta precisione degli spostamenti del suolo e dei manufatti.

Il recente lancio dei satelliti della costellazione Sentinel-1 dell'ESA (Agenzia Spaziale Europea) ha aperto nuove opportunità per il monitoraggio della superficie terrestre e per la valutazione degli scenari di rischio connessi a movimenti del suolo. La missione Sentinel-1, progettata nell'ambito del progetto europeo Copernicus, è composta da una costellazione di due satelliti (Sentinel-1A e Sentinel-1B). Il satellite Sentinel-1A è stato lanciato il 3 aprile 2014, Sentinel-1B il 25 aprile 2016. Entrambi i satelliti sono equipaggiati con sensori SAR in banda C (lunghezza d'onda di circa 5.6 cm) ed hanno tempi di rivisitazione di 12 giorni. La presenza in orbita dei due satelliti gemelli ha permesso di ridurre il tempo di rivisitazione a 6 giorni. Tale missione opera in modo da acquisire archivi consistenti di immagini adatte a programmi di monitoraggio a lungo termine e garantisce un flusso continuo di dati radar satellitari acquisiti con regolarità su vaste aree del pianeta. La costellazione di satelliti Sentinel-1 è ideata per fornire informazioni sempre efficaci, in continuità con i dati provenienti dalle precedenti missioni ERS 1/2 e ENVISAT, ma con un notevole miglioramento delle informazioni, soprattutto in termini di affidabilità, fruibilità e tempestività di consegna dei dati stessi. Questa costellazione satellitare risulta la migliore scelta operativa per attività di studio e monitoraggio delle deformazioni del terreno a media risoluzione con copertura a scala regionale.

La tecnica si basa sulla misurazione di punti fissi tipo manufatti e rocce, con la limitazione pertanto di non poter essere usata in assenza di essi (terreni). I dati sono pertanto concentrati nelle aree urbanizzate e in quelle con presenza di ammassi rocciosi.

Altra limitazione è quella di non poter misurare movimenti veloci, in quanto l'orbita dei satelliti dura 12 gg. Metodo comunque estremamente utile per monitorare gli spostamenti lenti delle frane.



## CARTA DELLE INDAGINI E DEI DATI DI BASE (GEO.06)

La carta è stata realizzata raccogliendo tutti i dati esistenti relativi al territorio comunale (locali, provinciali e nazionali) ed eseguendo una serie di indagini del tipo HVSR idonee a determinare le frequenze naturali dei depositi. In particolare ci riferiamo a tutte quelle indagini necessarie all'approfondimento della pericolosità sismica del territorio di Vecchiano, affrontati in capitoli specifici.

- n° 600 penetrometrie (436 CPT, 20DPSH, 110 CPTU, 34 DPM)
- n° 115 sondaggi geognostici a carotaggio continuo
- n° 38 stratigrafie di pozzi
- n° 94 indagini geofisiche lineari (7 WiDEPI, 46 MASW, 22 SRT, 19 ERT)
- n° 76 indagini geofisiche puntuali (5 DOWNE-HOLE, 71 HVSR)

### PENETROMETRIE

- ▲ CPT
- ▲ DPSH
- ▲ CPT/DPSH
- CPTU
- ▲ DPM

### POZZI

- shp pozzi

### SONDAGGI

- ◇ sondaggi

### INDAGINI GEOFISICHE PUNTUALI

- ◇ DOWN-HOLE
- ★ HVSR
- ⊕ inclinometri

### INDAGINI GEOFISICHE LINEARI

- WiDEPI
- MASW
- SRT
- ERT

## CARTA DEI CONOIDI DI MELTON (GEO.07)

Deriva da una procedura atta alla valutazione della propensione al dissesto di un'area interessata da conoidi alluvionali, vedasi la Carta dei conoidi di Melton (Tav. GEO.07).

L'analisi morfometrica è il mezzo utilizzato per lo studio quantitativo delle forme in geomorfologia.

Le prime analisi morfometriche studiarono le relazioni intercorrenti tra alcuni parametri di bacino e conoide (area del conoide e sua pendenza, area del bacino).

Nell'analisi di sistemi bacino-conoide, tra i primi studi a carattere morfometrico è basilare Melton (1965) ma già Bull (1962) aveva messo in relazione l'area della conoide e quella del bacino inserendo nelle relazioni coefficienti empirici relativi alle condizioni morfoclimatiche locali.

Dalla descrizione delle principali caratteristiche morfometriche e delle relazioni intercorrenti tra esse, gli studi si sono applicati successivamente alla verifica di quanto l'analisi morfometrica possa essere applicata per discriminare la tipologia di deposito prevalente nei conoidi Aulitzky, (1973, 1980) Jackson, (1987).

Melton (1965) sperimentò che i conoidi più estesi e a minore pendenza sono associati prevalentemente a processi fluviali e a grandi bacini di alimentazione con bassa energia di rilievo.

Viceversa i più piccoli e ripidi, dominati da meccanismi di deposito tipo debris flows, sono alimentati da bacini con area molto minore e con elevata energia di rilievo.

Su questa base Melton propose un indice adimensionale che potesse differenziare il tipo di trasporto atteso nella conoide, eguale al dislivello del bacino fratto la radice quadrata dell'area del bacino stesso.

Successivamente, ancora Melton, propose una correlazione diretta con la pendenza della conoide, con una relazione binomiale basata su parametri adimensionali relativi al contesto morfoclimatico da determinarsi sperimentalmente

Tali relazioni sono state sperimentate da diversi autori in condizioni geologiche e climatiche differenti ed hanno portato ad individuare i valori soglia di pendenza e dell'indice di Melton tipici di ogni tipologia di trasporto.

In particolare in Italia con D'Agostino, (1996), Marchi et Alii.(1993), Sorriso-Valvo et Alii., (1998). si giunge a fissare un indice (Me, indice di Melton)

$$Me = (H_{max} - H_{min}) \times A^{-0.5}$$

Se  $Me > 0.5$ , oppure se la pendenza media del conoide è superiore al valore di (7 - 14 Me), il bacino è a rischio di debris flow (colata di detriti caratterizzata da un moto pulsante e gravitativo e da un fluido di tipo non-newtoniano) e/o debris flood (flusso di massa ad alta concentrazione di detriti e con caratteristiche del fluido ancora di tipo newtoniano)  $H_{max}$  e  $H_{min}$  sono le quote rispettivamente massima e minima del bacino (m)  $A$  è l'area del bacino ( $km^2$ ).

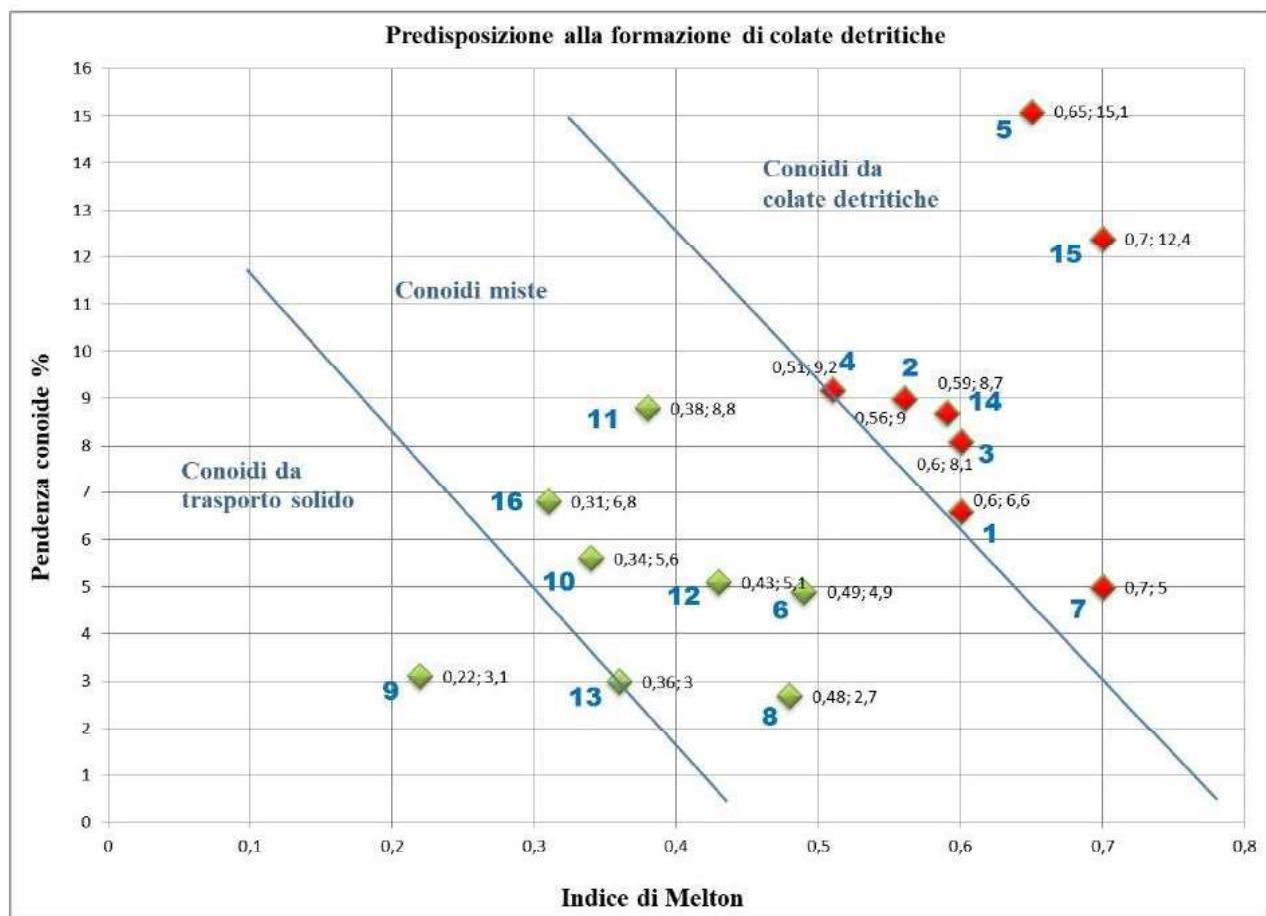


Grafico della predisposizione alle colate detritiche

### Risultati ottenuti

I casi più penalizzanti, vedasi la Carta dei conoidi di Melton (Tav. GEO.07), sono quelli riscontrati nella zona di Filettole: intorno a Villa Bettolo, dove per inciso recentemente si è verificato un dissesto, i conoidi (1, 2, 3, 4) in località Laiano, il conoide (7) sotto le Muracce di Filettole, anch'esso interessato da dissesto in epoca recente, il (14) lungo monte bonifica di Vecchiano (via della Barra), il (15) area del Paduletto (via del Roncile).

## CARTA DELLE PENDENZE (GEO.08)

La classificazione del territorio in funzione delle pendenze, in percentuali, è scaturita dalla necessità di valutare la pericolosità geologica delle fasce di detrito e degli affioramenti fratturati rocciosi e non in base all'acclività.

Tale carta è stata realizzata utilizzando un apposito plugin di Qgis



## CARTA DELL'INDICE POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (GEO.09)

L'indice potenziale di liquefazione è stato determinato dalle elaborazioni delle CPT e CPTU con profondità superiore ai 10 mt. I valori derivati sono stati raggruppati in cinque classi (Tabella Sommez, derivante dalla modifica della tabella proposta da Iwaski et al.).

IL	RISCHIO DI LIQUEFAZIONE
IL = 0	MOLTO BASSO
0 < IL < 2	BASSO
2 < IL < 5	MODERATO
5 < IL < 15	ALTO
15 < IL	MOLTO ALTO

Sul territorio comunale è prevalente l'IPL basso cioè con valori compresi tra 1 e 2, a seguire: il molto basso, il moderato, l'alto e raramente il molto alto.

Considerata comunque l'elevata disomogeneità laterale e verticale che contraddistinguono i depositi alluvionali, si ritiene necessario in fase di stesura di relazione geologica a supporto di indagini edilizie, di effettuare sempre la verifica a liquefazione mediante appropriate indagini, considerando una Magnitudo massima attesa di 6.14.

● molto basso = 0

● basso > 0 - 2

● moderato 2 - 5

● alto 5 - 15

● molto alto > 15

## CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEI DEPOSITI (GEO.10)

La carta riporta le frequenze e le ampiezze caratteristiche dei depositi derivanti da 71 indagini geofisiche di tipo HVSR, ubicate all'interno del territorio comunale.

Il valore medio delle Vs del suolo comunale, nelle prime decine di metri, si aggira intorno a 200 m/s.

Le frequenze nel territorio comunale sono raggruppate in due macroaree in funzione del valore maggiore o minore di 0,5 hz, divise dalla faglia capace, diretta, a direzione nordovest-sudest, passante tra l'abitato di Nodica e quello di Vecchiano. Valori di frequenza > 5 hz corrispondono al settore di nordest, caratterizzato da bedrock sismico a profondità minore di 100 m e frequentemente coincidente con quello geologico.

Il settore sudovest è generalmente caratterizzato da valori < 5hz, dovuti al ribassamento del bedrock geologico di circa 1.400 m. E comunque fenomeni di impedenza sismica si verificano a profondità molto più superficiali, intorno circa ai 225 m. L'impedenza sismica è legata alla presenza, a quella profondità di importanti depositi di ghiaie. Eccezioni si verificano talora nell'area di Migliarino, dove letti di ghiaie più superficiali evidenziano valori della frequenza più elevati.

Fenomeni di impedenza sismica legata alla presenza di letti di ghiaie è possibile riscontrarli lungo tutta la pianura del Serchio, vedasi la rappresentazione del tetto delle ghiaie della Tav. GEO.12.

### FREQUENZE

- < 1.0
- 1.0 - 1.5
- 1.5 - 2.0
- 2.0 - 4.0
- > 4.0

### AMPIEZZE

- < 2.0
- 2.0 - 3.0
- 3.0 - 4.0
- 4.0 - 5.0
- > 5.0

## CARTA GEOLOGICO-TECNICA (CGT) (GEO.11)

### SEZIONI GEOLOGICO-TECNICHE (GEO.11 sezioni)

La carta Geologico-tecnica è l'elaborato preliminare previsto per lo studio di Microzonazione Sismica (MS) di livello 1, ed è stata realizzata secondo gli standard di rappresentazione ed archiviazione informatica prevista a livello nazionale.

Mentre nella carta geologica le unità sono mappate in funzione delle caratteristiche cronostratigrafiche e genetico-deposizionali, nella carta geologico tecnica, le unità geologico tecniche mappate sono distinte in relazione a caratteristiche litotecniche omogenee. E pertanto le informazioni evidenziate nella carta geologico tecnica sono dunque relative ai caratteri litostratigrafici, geomorfologici, strutturali, geotecnici, geofisici, idrologici e idrogeologici.

I dati riportati nella CGT, devono risultare utili per la definizione del modello di sottosuolo funzionale e in una prima fase, alla realizzazione della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (livello 1, Carta delle MOPS).

#### Elementi geologici ed idrogeologici

##### Geoidr

-  Giacitura strati
-  Pozzo o sondaggio che ha raggiunto il substrato geologico (m)
-  Pozzo o sondaggio che ha non raggiunto il substrato geologico (m)

#### Elementi tettonico-strutturali

##### Elineari

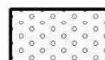
-  Faglia attiva e capace / frattura vulcanica cosismica - diretta - certa
-  Faglia non attiva - diretta - certa
-  Faglia non attiva - inversa - certa
-  Sinclinale
-  Anticlinale
-  Traccia della sezione geologica

#### Forme di superficie e sepolte

##### Epuntuali

-  Cavità sepolta isolata/ sinkhole/ dolina
-  Orlo di scarpata morfologica naturale o artificiale (> 20 m)
-  Asse di paleoalveo

### Forme



Conoide alluvionale



Falda detrica

### Instabilita' di versante



Fr (attiva) - non definito (3015)



Fr (quiescente) - non definito (3025)

### Terreni di copertura



SP - Sabbie pulite con granulometria poco assortita



SM - Sabbie limose, miscela di sabbia e limo



SC - Sabbie argillose, miscela di sabbia e argilla



ML - Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argilosì di bassa plasticità



OH - Argille organiche di media-alta plasticità, limi organici



PT - Torbe ed altre terre fortemente organiche

### Ambiente genetico-deposizionale dei terreni di copertura

de -duna eolica

fg - deposito fluvio glaciale

lc - lacustre

pa - palustre

sp - spiaggia

zz - altro

### Substrato geologico



AL - Alternanza di litotipi



ALS - Alternanza di litotipi, stratificato



SFALS - Alternanza di litotipi, stratificato, fritturato/alterato



LP - Lapideo



LPS - Lapideo stratificato



SFLP - Lapideo, fritturato/alterato



SFLPS - Lapideo stratificato, fritturato/alterato

Un territorio rappresentato pertanto dagli elementi geologici ed idrogeologici, dagli elementi tecnico strutturali, dai vari detriti, dalle instabilità di versante, dalle tipologie dei terreni di copertura e dal loro ambiente formazionale, dal substrato geologico distinto per litotipi deposizionali e della sua condizione di alterazione e fratturazione.

In questa carta è stato riportato il top delle ghiaie, in quanto può dare origine a fenomeni di impedenza sismica.

#### SEZIONI GEOLOGICHE (GEO.11)

Sono state realizzate n° 2 sezioni geologico-stratigrafiche rappresentative della situazione geologica del territorio di Vecchiano.

La sezione 1 attraversa tutta la parte collinare dalla bonifica fino al fiume Serchio, con direzione NW-SE. Dagli studi effettuati nel passato e dalla interpretazione della cartografia geologica, la sezione interessa la Serie Toscana con un accavallamento del calcare Maiolica con i sottostanti diaspri, sulle marne a Posidonomya. La formazione con spessore maggiore corrisponde al calcare Massiccio; in genere la stratigrafia ha una inclinazione verso W.

La parte più orientale della sezione è rappresentata dalla pianura alluvionale dove è ubicata la frazione di Avane. L'indagine SRT 0087, di lunghezza circa 200 metri, che dalla base collinare si estende verso la pianura, evidenzia un prolungamento del profilo collinare, con la stessa inclinazione della parte emergente, coincidente indicativamente tra le Vs di 600 e 800 m/s.

Dalle indagini HVSR, emerge un contrasto sismico, corrispondente al bedrock sismico, ad una profondità più superficiale variabile dai 20 metri lungomonte, ai 75 nel centro della pianura. Tale impedenza sismica può essere imputata a depositi superficiali argillo limosi prevalenti con Vs di circa 200 m/s che giacciono su strati di ghiaie con valori di Vs > di 400 m/s.

In golena è presente la faglia capace normale n° 61604 della Viareggio-Pisa System che ribassa la parte occidentale dei rilievi collinari dei Monti d'Oltre Serchio rispetto a quelli di san Giuliano terme. La posizione di tale faglia è traslata verso nord est di alcune centinaia di metri rispetto a quella del catalogo ITHACA, che non corrisponde come posizione sul terreno. La posizione corretta di tale faglia è quella che la fa passare parallelamente al corso del fiume Serchio, immediatamente alla base dei rilievi collinari di Panconi.



Saranno gli studi di approfondimento successivi, previsti nel livello di MS 3 a stabilire se tale posizionamento risulta corretto.

La seconda sezione (con il particolare dell'Area Industriale) ha un orientamento NNW – ESE e attraversa sostanzialmente tutta la pianura alluvionale per una lunghezza di oltre 7 Km, passando attraverso l'area industriale di Migliarino e corrisponde alla sezione di sismica riflessa VIDEPI PIC-05-89V che intercetta, nella parte più orientale, la faglia capace 61606 del catalogo ITHACA. Dall'interpretazione della sezione VIDEPI si evince che il rigetto della faglia diretta capace è di circa 1.000 metri e che al di sotto dell'area industriale di Migliarino, il substrato geologico è posto alla profondità di circa 1.400 metri. Nella stratigrafia della sezione si evidenziano più livelli riflettenti che danno origine a fenomeni di impedenza sismica. Tali livelli, molto probabilmente, sono riconducibili a vari livelli di ghiaie frapposti ai sedimenti fini durante la loro formazione.

Nella parte più superficiale, viene riscontrato il tetto delle ghiaie più superficiali, che degrada verso il mare con una profondità variante tra i 38 ed i 40 metri; al di sopra di esso, alternanze di sedimenti fini e sedimenti granulari, talvolta con presenza di materiale organico.

Nell'abitato di Nodica e di Migliarino e nell'Area Industriale di Migliarino, le frequenze derivanti dalle misure di HVSR variano generalmente tra valori di 0,31 – 0,34, valori che verosimilmente corrispondono a un bedrock sismico ubicato alla profondità di circa -225 mt, in corrispondenza di un livello di ghiaie con buona continuità laterale, profondità confermata anche dalla ricostruzione del modello sismico stratigrafico derivante dalla MASW (0013) e relativa misura HVSR realizzate nell'area industriale.

Eccezioni si riscontrano nell'abitato di Migliarino e nell'omonima area industriale a causa di un livello di ghiaie superficiali, con tetto variabile tra -36 e -43 mt che talvolta genera fenomeni di contrasto di impedenza sismica significativa e corrispondenza del bedrock sismico con il livello delle ghiaie.

## CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS) (GEO.12)

La Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) individua, sulla base di osservazioni geologiche, geomorfologiche e dell'acquisizione, valutazione ed analisi dei dati geognostici e geofisici, le microzone ove possono sintetizzarsi gli effetti locali o di sito prodotti dall'azione sismica.

E' stata posta attenzione in particolare alla:

- ricostruzione del modello geologico - tecnico dell'area;
- individuazione dei litotipi che costituiscono il substrato rigido;
- individuazione di eventuali discontinuità e morfologie sepolte;
- presenza di faglie e/o strutture tettoniche;
- contatti tra litotipi a caratteristiche fisico-meccaniche significativamente differenti;
- terreni soggetti a sedimenti diffusi e differenziali.

L'elaborazione della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) è stata realizzata per l'intero territorio comunale.

La carta delle MOPS suddivide le litologie che caratterizzano il territorio in:

- zone stabili corrispondenti agli affioramenti lapidei non fratturati né alterati;
- zone stabili suscettibili di amplificazione locali, sia su lapideo fratturato e/o alterato che sui terreni sedimentari.

Sono state individuate, sulla risultanza di quanto detto, numero 29 zone omogenee, rappresentate in altrettante colonne MOPS.

Le prime 8 colonne rappresentano la parte collinare e la pianura fluviale a monte del ponte di Pontasserchio; per i dettagli si consultino le colonne MOPS.

Le restanti zone rappresentano tutta l'altro settore della pianura, che si estende dalle colline al mare. Tale zona è divisa dalla faglia capace a direzione nordovest – sudest, che separa la frazione di Nodica da quella di Vecchiano in due settori stratigraficamente differenti. Quella a nordest è caratterizzata da un bedrock geologico inferiore ai 300 metri, sovrastato da depositi di ghiaie nelle zone 9 - 16 e con un bedrock sismico inferiore ai 100 m; la parte più superficiale è caratterizzata da alternanze di depositi fini.

A sudovest della faglia si riscontra un bedrock geologico, ribassato di circa 1.000 m e sovrastato da circa 1.400 m di depositi, distinguibili dal basso in alternanze di livelli fini e ghiaiosi sormontati da depositi marini, sino circa a quota -65, al di sopra dei quali è presente una serie sedimentaria continentale, la cui base è caratterizzata da un livello esteso di ghiaie (zone 17 – 29).

## CARTA DELLA PERICOLOSITÀ GEOLOGICA (GEO.13)

La caratterizzazione delle aree a pericolosità geologica comprende, oltre agli elementi geologici in senso stretto, anche gli elementi geomorfologici e quelli relativi alla dinamica costiera, secondo la classificazione, di seguito indicata.

- Pericolosità geologica molto elevata (G.4): aree in cui sono presenti fenomeni franosi attivi e relative aree di evoluzione, ed aree in cui sono presenti intensi fenomeni geomorfologici attivi di tipo erosivo.
  - Pericolosità geologica elevata (G.3): aree in cui sono presenti fenomeni franosi quiescenti e relative aree di evoluzione; aree con potenziale instabilità connessa a giacitura, ad acclività, a litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee e relativi processi di morfodinamica fluviale, nonché a processi di degrado di carattere antropico; aree interessate da fenomeni di soliflusso, fenomeni erosivi; aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geomecaniche; corpi detritici su versanti con pendenze superiori a 15 gradi.
  - Pericolosità geologica media (G.2): aree in cui sono presenti fenomeni geomorfologici inattivi; aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciturali dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto; corpi detritici su versanti con pendenze inferiori a 15 gradi.
  - Pericolosità geologica bassa (G.1): aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giaciturali non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfoevolutivi.
- 

Per il territorio di Vecchiano, per la stesura di detta cartografia, si sono recepite le considerazioni emerse dallo studio del PAI, Autorità di Bacino, nonché tutte le informazioni raccolte dagli studi effettuati nel territorio comunale, negli anni fino ad oggi.

### PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA



## **Classe di pericolosità G4 molto elevata**

Relativamente all'area collinare, sono inserite in detta classe:

- Le frane attive
- Le aree di cava (fronti e piazzali), definite come aree degradate di cava
- L'area della ex discarica di inerti ad Avane
- Le doline carsiche
- Le aree risultanti in subsidenza dai dati di interferometria satellitare

In area di pianura:

- Le aree umide del bordo del Lago di Massaciuccoli
- Tutta la fascia della bonifica interessata da subsidenza e da terreni torbosi
- La fascia litoranea attiva
- Le fasce di lame intradunali
- Le scarpate di degradazione e gli orli di scarpata di erosione fluviale

## **Classe di pericolosità G3 elevata**

Relativamente all'area collinare, sono inserite in detta classe:

- I terreni detritici a prevalente matrice argillosa con pendenze superiori al 15%
- I terreni litoidi molto fratturati o di scarsa qualità con pendenze maggiori del 35%
- I terreni litoidi non/poco fratturati e di buona qualità, con pendenze maggiori del 45%
- Le conoidi di detrito soggetti a debris flow (Melton)

In area di pianura:

- La fascia golendale e le scarpate fluviali
- La fascia interessata da sedimenti limo-argillosi compressibili

## **Classe di pericolosità G2 media**

Relativamente all'area collinare, sono inserite in detta classe:

- Conoidi miste detritico/alluvionali
- Terreni litoidi non/poco fratturati e di buona qualità con pendenze minori del 45%

In aree di pianura:

- Tutte le altre aree di pianura non incluse nelle classi precedenti

## **Classe di pericolosità G1 bassa**

Non è stata individuata alcuna classe in G1.

## CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA (GEO.14)

Il regolamento 5r di cui alla Legge Regionale Toscana del 2020 identifica la seguente classificazione:

Pericolosità sismica locale molto elevata (S.4):

- aree interessate da deformazioni legate alla presenza di faglie attive e capaci, in grado di creare deformazione in superficie;
- terreni suscettibili di liquefazione dinamica accertati mediante indagini geognostiche, oppure notizie storiche o studi preesistenti;
- aree interessate da instabilità di versante attive e relativa area di evoluzione, tali da subire un'accentuazione del movimento in occasione di eventi sismici.

Pericolosità sismica locale elevata (S.3):

- aree con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti rilevanti;
- aree potenzialmente suscettibili di liquefazione dinamica, caratterizzate da terreni per i quali, sulla base delle informazioni disponibili, non è possibile escludere a priori il rischio di liquefazione;
- zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse;
- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, connesse con un alto contrasto di impedenza sismica atteso entro alcune decine di metri dal piano di campagna;
- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali con fattore di amplificazione ( $F_x$ )  $> 1.4$ ; aree interessate da instabilità di versante quiescente, relative aree di evoluzione, nonché aree potenzialmente franose, di seguito, denominate "APF", e, come tali, suscettibili di riattivazione del movimento in occasione di eventi sismici
- Le faglie attive e capaci individuate nel catalogo ITHACA dell'Ispra.

Pericolosità sismica locale media (S.2):

- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali connessi con contrasti di impedenza sismica attesa oltre alcune decine di metri dal piano campagna e con frequenza fondamentale del terreno indicativamente inferiore a 1hz;
- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali con fattore di amplificazione ( $F_x$ )  $< 1.4$ ;
- zone stabili suscettibili di amplificazione topografica (pendii con inclinazione superiore a 15 gradi);
- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, non rientranti tra quelli previsti nelle classi 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 (pendii con inclinazione inferiore a 15 gradi), dove non si ritengono probabili fenomeni di amplificazione o instabilità indotta dalla sollecitazione sismica.

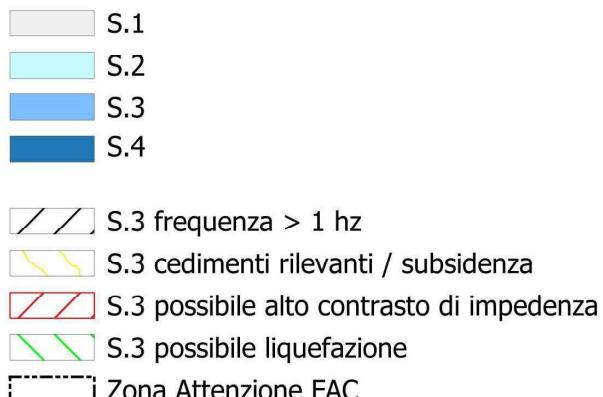
Si specifica che, per “alto contrasto di impedenza sismica”, sono da intendersi situazioni caratterizzate da rapporti tra le velocità di propagazione delle onde di taglio (Vs) del substrato sismico di riferimento e delle coperture sismiche sovrastanti - oppure all’interno delle coperture stesse - almeno pari a 2, come stimato dalle indagini sismiche. In alternativa, la medesima situazione è individuabile mediante il valore relativo all’ampiezza del picco di frequenza fondamentale delle misure passive di rumore ambientale a stazione singola, che deve essere almeno pari a 3.

Si specifica inoltre che, per “alcune decine di metri”, sono da intendersi spessori indicativamente intorno a 40 metri.

---

Per quanto concerne il territorio comunale di Vecchiano:

#### PERICOLOSITA' SISMICA



#### Classe di pericolosità S.4 molto elevata:

- aree interessate da instabilità di versante attive e relative aree di evoluzione
- aree ad alto degrado geofisico (ex aree di cava)
- aree collinari con evidenti fenomeni di instabilità dedotte da interferometria satellitare dove sono possibili fenomeni di crollo
- il sistema di trincee costituite da faglie dirette ed inverse
- le doline
- la scarpata di sponda del Serchio
- aree palustri tra lago e argini

### **Classe di pericolosità S.3 elevata:**

- aree interessate da instabilità da frana quiescente (instabilità di versante quiescente)
- detrito di versante con pendenze  $> 25\%$
- terreni litoidi poco fratturati con pendenze  $> 45\%$
- terreni litoidi molto fratturati o di scarsa qualità con pendenze  $> 35\%$
- conoidi alluvionali per possibile alta impedenza sismica
- terreni ad alta impedenza sismica per spessori  $< 30/40$  metri
- terreni interessati da subsidenza e/o cedimenti rilevanti
- terreni con picco di frequenza  $> 1\text{Hz}$
- impedenza sismica attesa in alcune decine di metri da p.d.c. e con frequenza  $> 1\text{Hz}$
- il buffer di 200 m delimitante la zona di attenzione di faglie attive e capaci ZA.FAC
- aree con possibili fenomeni di liquefazione dinamica
- le lame interdunali ed i depositi di sabbie attuali

Nell'area della pianura di Vecchiano si hanno valori di impedenza sismica con valore dei picchi di frequenza  $> 1$  dovuti a presenza di importanti livelli di ghiaie addensate.

### **Classe di pericolosità S.2 media:**

- aree collinari con litotipi di buona qualità (aree con roccia lapidea non fratturata) con pendenza  $< 25\%$
- aree di pianura caratterizzate da sedimenti poco compressibili (sabbiosi)

### **Classe di pericolosità S.1 bassa:**

Non si distinguono aree corrispondenti a tale pericolosità sismica.