



COMUNE DI  
CERTALDO

# Piano Operativo Comunale

Art. 95 L.R. 65/2014

## IL SINDACO DEL COMUNE DI CERTALDO

Giacomo Cucini

## UFFICIO DI PIANO

### Ufficio Urbanistica Comunale

Arch. Carlo Vanni  
Geom. Mariarosa Cantini  
Dott.ssa Silvia Santini

### ARTU' srl

Urb. PhD. Matteo Scamporrino  
Arch. PhD. Luca di Figlia

### GHEA ENGINEERING & CONSULTING S.R.L.

Geol. Luca Pagliuzzi  
Geol. Serena Vannetti  
Aspetti idraulici  
Ing. Giacomo Gazzini  
Hydrogeo Ingegneria s.r.l.

### Aspetti giuridici

Avv. Agostino Zanelli Quarantini

## SUPPORTO SCIENTIFICO

Laboratorio Regional Design  
Dipartimento di Architettura  
Università degli Studi di Firenze

Responsabile scientifico  
Prof. Valeria Lingua

Prof. Giuseppe De Luca  
Arch. PhD. Michela Chiti  
Urb. Elisa Caruso



Data Adozione: 11/02/2019

Data Approvazione:

---

## COLLABORATORI

Dott. Urb. Lorenzo Bartali

## GARANTE PER LA COMUNICAZIONE

Dott. Filippo Belli

## RELAZIONE

---

## SCALA

## ELABORATO

## DATA REVISIONE

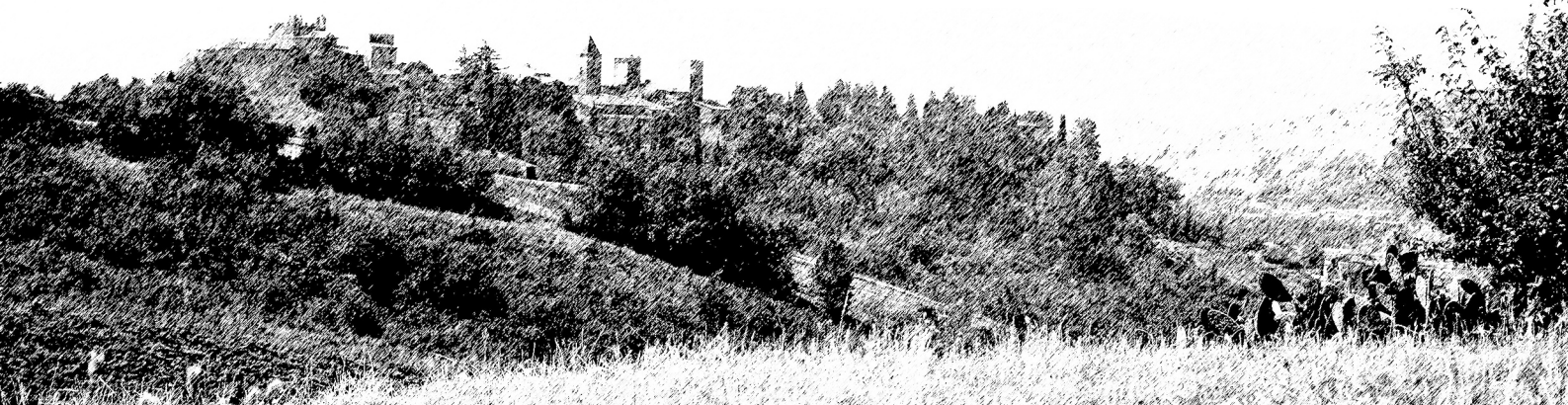
Marzo 2020

# QC.GEO16

ELABORATO MODIFICATO A SEGUITO DELLE OSSERVAZIONI ACCOLTE



P<sup>PIANO</sup>  
ianificare  
O<sup>OPERATIVO</sup>  
ggi  
C<sup>COMUNALE</sup>  
ertaldo



## INDICE

Premessa .....	2
Elaborati prodotti.....	4
Inquadramento generale .....	6
Sintesi delle conoscenze.....	7
Piano di Bacino del Fiume Arno .....	8
Analisi e approfondimenti.....	9
Elementi geologici .....	11
Elementi geomorfologici.....	16
Aspetti idrogeologici .....	18
Elementi litologico-tecnici .....	26
Dati di base .....	28
Valutazioni di pericolosità .....	39
Aree a pericolosità geologica .....	39
Aree a pericolosità idraulica.....	40
Aree a pericolosità sismica locale .....	43
Condizioni di fattibilità .....	47

## PREMESSA

La presente Relazione *illustra gli aspetti che concorrono alla definizione dell'assetto geologico tecnico* del territorio di Certaldo in relazione al NUOVO Piano Operativo Comunale.

Le indagini geologiche sono state redatte ai sensi del *Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n. 1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche* (Decreto del Presidente della Giunta Regionale 25 ottobre 2011 n. 53/R pubblicato nella Sezione I del Bollettino Ufficiale della Regione Toscana n. 51 del 2 novembre 2011).

Il nuovo Piano Operativo andrà a sostituire il Regolamento Urbanistico vigente e aggiornerà la componente geologica, sismica e idraulica del quadro conoscitivo del Piano Strutturale. Le nuove indagini geologiche di supporto al Piano Operativo andranno a sostituire quelle esistenti.

Le indagini geologiche sono finalizzate a verificare la pericolosità del territorio sotto il profilo geologico, idraulico e sismico, anche in attuazione degli atti di pianificazione sovraordinati, al fine di valutare le condizioni, i limiti ed i vincoli che possono derivare dalle situazioni di pericolosità riscontrate.

In relazione agli aspetti geomorfologici, le indagini ed i sopralluoghi sono stati effettuati di concerto con le autorità competenti (Genio Civile e Autorità di Bacino) e sono stati validati con Decreto n. 92 del 16/12/2019 dell'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino settentrionale, Area pianificazione assetto idrogeologico e frane.

Le implicazioni di carattere idraulico sono oggetto di specifico studio.

In relazione agli aspetti sismici, le indagini geologiche hanno previsto la realizzazione di uno studio di Microzonazione Sismica (MS) di Livello 1, in ottemperanza a quanto previsto dal Regolamento 53/R, facendo riferimento all'Allegato A, §2. Punto B.7 e C.5. Lo studio di microzonazione ha riguardato i principali centri abitati.

Lo Studio di Microzonazione Sismica, a seguito di validazione da parte del Settore Sismica della Regione Toscana, è stato definitivamente approvato con la Riunione della Commissione Tecnica per il Supporto e il Monitoraggio degli Studi di Microzonazione Sismica del Dipartimento della Protezione Civile tenutasi il giorno 8 maggio 2019 (OcDPC 293/2015).

Successivamente al deposito per l'adozione del Piano Operativo Comunale (Deposito n. 3529 del 22/01/19), lo Studio di Microzonazione Sismica è stato oggetto di approfondimenti a seguito della richiesta integrazioni da parte del Genio Civile Valdarno Superiore (Protocollo n. 0008335/2019 del 17/04/2019).

Le indagini geologiche sono articolate in Sintesi delle conoscenze, Analisi ed approfondimenti e Valutazioni di pericolosità.

Il Piano Operativo definisce le condizioni per la gestione degli insediamenti esistenti e per le trasformazioni degli assetti insediativi, infrastrutturali ed edilizi, in coerenza con il quadro conoscitivo e con i contenuti statutari e strategici del piano strutturale, traducendo altresì in regole operative anche le direttive del regolamento Regionale 53/R e le prescrizioni dettate dai piani di bacino.

La trasformabilità del territorio è strettamente legata alle situazioni di pericolosità e di

criticità rispetto agli specifici fenomeni che le generano ed è connessa ai possibili effetti che possono essere indotti dall'attuazione delle previsioni dell'atto di governo del territorio.

Le condizioni di attuazione sono riferite alla fattibilità delle trasformazioni e delle funzioni territoriali ammesse, fattibilità che fornisce indicazioni in merito alle limitazioni delle destinazioni d'uso del territorio in funzione delle situazioni di pericolosità riscontrate, nonché in merito agli studi e alle indagini da effettuare a livello attuativo ed edilizio e alle opere da realizzare per la mitigazione del rischio; opere che sono da definire sulla base di studi e verifiche che permettano di acquisire gli elementi utili alla predisposizione della relativa progettazione.

Nel Piano Operativo sono inoltre disciplinate in maniera specifica le eventuali situazioni connesse a problematiche idrogeologiche o a variazioni della risposta sismica locale in funzione delle destinazioni previste.

## ELABORATI PRODOTTI

Le indagini geologiche sono preliminarmente finalizzate alla definizione della pericolosità di carattere geologico per tutto il territorio comunale mentre solamente per i centri abitati significativi per quella di carattere sismico. In particolare, le indagini sono preliminarmente finalizzate alla redazione della Carta delle Aree a pericolosità geologica e della Carta delle Aree a pericolosità sismica locale.

Successivamente sono definite le condizioni per la gestione degli insediamenti esistenti e per le trasformazioni degli assetti insediativi, infrastrutturali ed edilizi, in coerenza con il quadro conoscitivo; la trasformabilità del territorio è strettamente legata alle situazioni di pericolosità geologica, sismica e idraulica.

Per le previsioni sono state realizzate delle Schede normative e di Indirizzo progettuale (Elaborato PR06) in cui sono riportate, oltre alla disciplina delle trasformazioni degli assetti insediativi, infrastrutturali ed edilizi del territorio, con valenza quinquennale, le condizioni di trasformabilità in relazione agli aspetti geologici, sismici e idraulici (fattibilità degli interventi). Per il territorio aperto, e per gli interventi non riportati nelle Schede progetto, sono stati invece prodotti due abachi, rispettivamente per le problematiche di carattere geologico e sismico e idraulico.

I tematismi geologici e sismici prodotti sono di seguito elencati:

- QC.GEO01.O Carta geologica - Ovest (scala 1:10.000)
- QC.GEO01.E Carta geologica - Est (scala 1:10.000)
- QC.GEO02.O Carta geomorfologica - Ovest (scala 1:10.000)
- QC.GEO02.E Carta geomorfologica - Est (scala 1:10.000)
- QC.GEO03.O Carta idrogeologica - Ovest (scala 1:10.000)
- QC.GEO03.E Carta idrogeologica - Est (scala 1:10.000)
- QC.GEO04.O Carta delle evidenze idrogeologiche - Ovest (scala 1:10.000)
- QC.GEO04.E Carta delle evidenze idrogeologiche - Est (scala 1:10.000)
- QC.GEO05.O Carta litotecnica - Ovest (scala 1:10.000)
- QC.GEO05.E Carta litotecnica - Est (scala 1:10.000)
- QC.GEO06.NO Carta dei dati di base - Nord Ovest (scala 1:5.000)
- QC.GEO06.NE Carta dei dati di base - Nord Est (scala 1:5.000)
- QC.GEO06.SO Carta dei dati di base - Sud Ovest (scala 1:5.000)
- QC.GEO06.SE Carta dei dati di base - Sud Est (scala 1:5.000)
- QC.GEO06.S Carta dei dati di base - Sud (scala 1:5.000)
- QC.GEO07.01 Dati di base Tomo 01
- QC.GEO07.02 Dati di base Tomo 02
- QC.GEO07.03 Dati di base Tomo 03
- QC.GEO07.04 Dati di base Tomo 04
- QC.GEO07.05 Dati di base Tomo 05

- QC.GEO07.06 Dati di base Tomo 06
- QC.GEO07.07 Dati di base Tomo 07
- QC.GEO07.08 Dati di base Tomo 08
- QC.GEO07.09 Dati di base Tomo 09
- QC.GEO07.10 Dati di base Tomo 10
- QC.GEO07.11 Dati di base Tomo 11
- QC.GEO07.12 Dati di base Tomo 12
- QC.GEO07 Relazione sulle indagini geofisiche
- QC.GEO08.O Carta delle aree a pericolosità geologica - Ovest (scala 1:10.000)
- QC.GEO08.E Carta delle aree a pericolosità geologica - Est (scala 1:10.000)
- QC.MZS09.N Carta delle indagini - Nord (scala 1:5.000)
- QC.MZS09.S Carta delle indagini - Sud (scala 1:5.000)
- QC.MZS09.F Carta delle indagini - Frazioni (scala 1:5.000)
- QC.MZS10.N Carta geologico-tecnica - Nord (scala 1:5.000)
- QC.MZS10.S Carta geologico-tecnica - Sud (scala 1:5.000)
- QC.MZS10.F Carta geologico-tecnica - Frazioni (scala 1:5.000)
- QC.MZS11 Sezioni geologico-tecniche
- QC.MZS12 Carta delle frequenze fondamentali
- QC.MZS13.N Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica - Nord (scala 1:5.000)
- QC.MZS13.S Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica - Sud (scala 1:5.000)
- QC.MZS13.F Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica - Frazioni (scala 1:5.000)
- QC.MZS14 Relazione illustrativa della Carta delle MOPS
- QC.GEO15.N Carta delle aree a pericolosità sismica locale - Nord (scala 1:5.000)
- QC.GEO15.S Carta delle aree a pericolosità sismica locale - Sud (scala 1:5.000)
- QC.GEO15.F Carta delle aree a pericolosità sismica locale - Frazioni (scala 1:5.000)
- QC.GEO16 Relazione

I tematismi di base (acronimo QC.GEO) hanno ad oggetto l'intero territorio comunale, mentre gli elaborati prodotti per lo studio di Microzonazione sismica di livello 1 (acronimo QC.MZS) riguardano solamente i centri abitati significativi.

Gli elaborati cartografici sono stati realizzati sia in formato cartaceo che digitale sotto forma di archivio GIS, in scala 1:10.000/5.000.

## INQUADRAMENTO GENERALE

Il Comune di Certaldo si trova al centro della Toscana, nella porzione medio inferiore del bacino idrografico del Fiume Elsa ed è caratterizzato, nella sua porzione occidentale, da una vasta pianura alluvionale, mentre per la restante porzione territoriale da una zona collinare molto estesa e articolata.

Il territorio comunale ha un'estensione di circa 75,28 chilometri quadri e uno sviluppo altimetrico dai circa 50 metri sul livello del mare, al limite settentrionale della pianura alluvionale dell'Elsa, ai 406 metri in corrispondenza della Fattoria di Santa Maria Novella, con un dislivello di 356 metri circa.

Nella cartografia della Carta Tecnica Regionale il territorio comunale è coperto dalle Sezioni, in scala 1:10.000, 275130, 275140, 286010, 286020, 286050 e 286060.

La morfologia del territorio, estremamente variabile, è strettamente legata alla litologia dei terreni affioranti e si sviluppa in paesaggi fortemente differenti tra loro, che mostrano andamenti all'incirca paralleli all'asse del bacino dell'Elsa, nord-ovest sud-est.

Il territorio comunale si estende per la sua interezza in destra idrografica del Fiume Elsa, con una larghezza della pianura alluvionale, nella porzione territoriale di Certaldo, massima di circa un chilometro.

Gli affluenti principali dell'Elsa, suoi affluenti destri, sono il Torrente Agliena e il Borro dell'Avanella che hanno sviluppato importanti pianure alluvionali secondarie, che si inseriscono con andamento all'incirca perpendicolare a quella dell'Elsa.

La morfologia delle colline risulta fortemente influenzata dalla litologia dei terreni presenti.

In corrispondenza dei depositi a prevalenza argillosa si hanno forme dolci, frutto dell'azione delle forme dovute alla gravità ed all'azione delle acque, sia libere che incanalate, che agendo su litologie limoso-argillose, generano forme mammellari e calanchive. Invece, in corrispondenza delle litologie sabbioso ciottolose, le forme risultano più aspre, influenzate da fenomeni di crollo preponderanti.

Le porzioni sommitali dei rilievi impostati su litologie granulari, morfologicamente pianeggianti, risultano poco estesi.

## SINTESI DELLE CONOSCENZE

La sintesi delle conoscenze, realizzata ai sensi delle direttive per le indagini geologico allegate al Decreto del Presidente della Giunta Regionale 25 ottobre 2011 n. 53/R, comprende la raccolta della documentazione relativa al quadro conoscitivo esistente e certificato come quello derivante dai Piani di Bacino, dal Piano di Indirizzo Territoriale, al fine di inquadrare le problematiche ed i vincoli presenti sul territorio e sulla cui base effettuare le successive analisi ed elaborazioni.

La sintesi delle conoscenze è stata articolata nelle seguenti attività:

- Consultazione della Cartografia geologica regionale (Database geologico della Regione Toscana, aggiornamento del Continuum geologico e Progetto CARG);
- Consultazione dei Piani di Bacino redatti dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno: "Stralcio Assetto Idrogeologico" e "Stralcio Bilancio Idrico";
- Consultazione del Piano di Indirizzo Territoriale della Regione Toscana (P.I.T.);
- Consultazione dell'Inventario dei Fenomeni Franosi Italiani, progetto I.F.F.I., realizzato a cura dell'A.P.A.T. Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici e della Regione Toscana;
- Consultazione delle precedenti indagini geologiche e geologico-tecniche che hanno investigato il territorio comunale;
- Ricerca dei dati di base litostratigrafici e geotecnici presenti negli archivi comunali;
- Studi di fotointerpretazione effettuati su foto in visione stereoscopica dei voli presenti presso la Regione Toscana ed in rete; gli studi sono serviti per l'aggiornamento della Carta geomorfologica ed i successivi approfondimenti e derivazioni;
- Ricerca bibliografica riguardante studi di carattere geologico in senso lato aventi ad oggetto il territorio comunale;
- Consultazione del Portale del Servizio Geologico d'Italia, in particolare dei seguenti archivi: 'Indagini del sottosuolo (L. 464/84)', servito per un ulteriore aggiornamento dei dati di base, e 'Faglie capaci (ITHACA)';
- Consultazione degli archivi della Regione Toscana, in particolare della Banca Dati del sottosuolo (LaMMA), della Banca Dati indagini geotematiche (BDIG), della Banca Dati stratigrafica della Toscana (SIRA) e Informazione Geografica (GEOscopio);
- Consultazione del Piano Provinciale per la Gestione dei Rifiuti - Terzo Stralcio "Bonifica delle aree inquinate", Piano Operativo di Censimento (P.O.C.) 2008;
- Consultazione del portale ARPAT - SIRA, Banca dati delle Zone Vulnerabili ai Nitrati - ZVN e Sistema Informativo Siti interessati da procedimenti di BONifica - SISBON;
- Consultazione della Banca dati Publiacqua, della Banca dati ACQUE SPA e Sistema Informativo Territoriale della Provincia di Firenze, relativamente alle ubicazioni e stratigrafie dei pozzi.



## PIANO DI BACINO DEL FIUME ARNO

Per quanto riguarda il Piano di Bacino del Fiume Arno, stralcio "Assetto Idrogeologico", è stata consultata la cartografia relativa ai movimenti di versante.

In sede di predisposizione della Carta geomorfologica e dei successivi sopralluoghi effettuati sul terreno con i Tecnici del Distretto Appennino Settentrionale, è stato aggiornato l'inventario dei fenomeni franosi (I.F.F.I.) finalizzato alla verifica della coerenza tra il quadro conoscitivo delle indagini svolte ed il Piano di Bacino stesso, stralcio Assetto Idrogeologico (PAI), adempiendo a quanto richiesto dalla vigente normativa.

Le perimetrazioni relative agli aspetti geomorfologici sono state validate con Decreto n. 92 del 16/12/2019 dell'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino settentrionale, Area pianificazione assetto idrogeologico e frane.

## ANALISI E APPROFONDIMENTI

Successivamente alla raccolta dei dati precedenti, sono stati effettuati approfondimenti di carattere geologico, strutturale, geomorfologico, idrogeologico, geotecnico e sismico, al fine di aggiornare ed integrare le conoscenze riguardanti il territorio.

Si è anzitutto proceduto ad un rilevamento di carattere litostratigrafico, strutturale e geomorfologico basato sulla cartografia geologica regionale, supportato da un accurato lavoro di fotointerpretazione eseguita su fotogrammi relativi a vari voli effettuati negli ultimi 30 anni, reperiti presso l'Archivio foto-cartografico della Regione Toscana, di conferma a quanto effettuato nelle fasi precedenti.

Inoltre, considerati i plurimi fenomeni pluviometrici intensi avvenuti dall'ultimo aggiornamento geomorfologico, si è proceduto ad una verifica ed aggiornamento del quadro geomorfologico dell'intero territorio comunale, con particolare riferimento all'ampia fascia collinare.

Relativamente agli aspetti di carattere idraulico si rimanda allo specifico studio idrologico-idraulico.

Relativamente agli aspetti sismici, le indagini geologiche hanno previsto la realizzazione di uno studio di Microzonazione Sismica (MS) di Livello 1, in ottemperanza a quanto previsto dal Regolamento 53/R, facendo riferimento all'Allegato A, §2. Punto B.7 e C.5, finalizzato ad evidenziare gli elementi prioritari per la valutazione degli effetti locali e di sito per la riduzione del rischio sismico e scaturito nella realizzazione della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS).

Lo studio di microzonazione ha riguardato i principali centri abitati e congrui intorni, oggetto delle previsioni più significative, così come concordato con l'Ufficio tecnico del Genio Civile della Regione Toscana. I centri abitati oggetto degli studi di microzonazione sismica sono stati i seguenti: Certaldo e l'intera pianura alluvionale con le zone industriali, Fiano, Gorgognano, Marcialla, Sciano. Le suddette aree sono localizzate ed individuate negli elaborati cartografici.

Lo Studio di Microzonazione Sismica, a seguito di validazione da parte del Settore Sismica della Regione Toscana, è stato definitivamente approvato con la Riunione della Commissione Tecnica per il Supporto e il Monitoraggio degli Studi di Microzonazione Sismica del Dipartimento della Protezione Civile tenutasi il giorno 8 maggio 2019 (OcDPC 293/2015).

Successivamente al deposito per l'adozione del Piano Operativo Comunale (Deposito n. 3529 del 22/01/19), lo Studio di Microzonazione Sismica è stato oggetto di approfondimenti a seguito della richiesta integrazioni da parte del Genio Civile Valdarno Superiore (Protocollo n. 0008335/2019 del 17/04/2019).

Per questo studio sono stati acquisiti tutti gli elementi necessari per una corretta e puntuale ricostruzione e rappresentazione del Modello geologico-tecnico di sottosuolo, sia in termini di geometrie e spessori delle litologie presenti, che in termini di parametrizzazione dinamica del terreno, principalmente in relazione a misure dirette delle Vsh e di rumore ambientale mediante tecnica a stazione singola (HVSr).

Per lo studio di microzonazione è stata svolta una approfondita indagine costituita

dall'esecuzione di prove penetrometriche CPTU in corrispondenza della pianura alluvionale e indagini geofisiche di varia tipologia nelle zone più significative dal punto di vista sismico e/o non adeguatamente coperte dalle indagini

Per una trattazione completa relativa agli aspetti sismici si rimanda alla specifica Relazione tecnica illustrativa (QC.MZS14) di supporto allo studio di Microzonazione Sismica (MS).

Gli approfondimenti si sono concretizzati nella realizzazione di tematismi di carattere geologico, geologico-tecnico e geomorfologico, rappresentati mediante cartografie alla scala 1:10.000 per l'intero territorio comunale, sia in forma cartacea che digitale (GIS). Relativamente ai tematismi di carattere sismico questi sono stati redatti, per le motivazioni precedentemente anticipate, solamente per i centri abitati significativi, mediante cartografie in scala 1:5.000, sia in forma cartacea che digitale.

## ELEMENTI GEOLOGICI

Il Comune di Certaldo ricade all'interno del bacino della Val d'Elsa, che costituisce un segmento di una lunga fossa di origine neogenica ad andamento appenninico ovvero nord-ovest-sud-est che, dalla Valle del Serchio si estende verso sud-sud est, con una lunghezza complessiva di circa 60 chilometri e una larghezza di 25. Esso è limitato a nord dai rilievi di Montecatini Terme, ad est dal Monte Albano - Colline dell'Impruneta e dal Chianti, a sud dal rilievo di Monte Maggio ed ad ovest dalla Dorsale di Iano, facente parte della Dorsale medio-toscana, che giunge sino alla Montagnola Senese.

Il territorio comunale appartiene alla fascia centrale della catena orogenica dell'Appennino settentrionale, parte integrante della fascia di deformazione perimediterranea sviluppatesi prevalentemente in tempi neogenici e costituita da una struttura complessa di falde e thrust formatasi in relazione a più fasi tettoniche.

A partire dal Tortoniano terminale - Messiniano si instaura una tettonica distensiva legata all'apertura del Bacino Tirrenico, caratterizzata da faglie normali immergenti verso ovest, che porta alla formazione di una serie di depressioni tettoniche sul margine continentale (bacini intermontani). In ordine progressivo di attivazione si hanno il bacino della Val di Fine - Val di Cecina, di Viareggio - Val di Magra, formatisi nel Tortoniano - Messiniano, seguiti poi dal bacino dell'Era e dell'Elsa sviluppatasi dal Pliocene Inferiore, quelli della Lunigiana, Garfagnana e Valdarno - Val di Chiana che risalgono al Pliocene Superiore. Infine, nel Pleistocene inferiore si sono formati i bacini di Firenze - Prato - Pistoia, del Mugello, del Casentino e dell'Alta Val Tiberina.

I suddetti bacini sono caratterizzati da ampi volumi di riempimenti neogenici-quadernari. L'analisi di questi riempimenti ha evidenziato una alternanza di sedimenti marini e continentali, un pattern sedimentario dipendente dalle variazioni del livello del mare, a sua volta regolato a livello globale dalle eustasie e dai cambiamenti climatici che hanno caratterizzato il passaggio fra il tardo Neogene e il Quaternario (*Benvenuti M., 1999*), (*Martini I. &., 1993*), (*Benvenuti M. et al., 2014*) e non per ultimo dalla tettonica regionale. In particolare, proprio l'interazione fra tettonica regionale e processi eustatici ha portato all'assetto litostratigrafico dei bacini della Toscana settentrionale caratterizzati da una alternanza ciclica di depositi marini e continentali fluvio-lacustri.

Il bacino della Val d'Elsa è il prodotto della tettonica distensiva in atto tardo miocenica a seguito dell'apertura del bacino Tirrenico e i sedimenti pliocenici che lo caratterizzano sono riconducibili a fasi trasgressive come ipotizzato da *Dainelli G. & Videssot P., 1930* e riconfermato da vari studi recenti su aree ristrette (*Bossio et al., 1993-8, 2001*; *Capazzuoli et al., 2005*).

In merito alle variazioni eustatiche che hanno caratterizzato e controllato i cicli deposizionali alternati (depositi marini e depositi continentali) dei bacini neogenici della Toscana tirrenica, di recente è stato realizzato uno studio dettagliato dei riempimenti deposizionali dei suddetti bacini (*Benvenuti M. et al., 2014*), con particolare riferimento al bacino della Val d'Elsa. Nel suddetto studio sono stati messi in evidenza, a partire dal Zancleano (piano inferiore del Pliocene) fino ad arrivare al Gelasiano (piano inferiore del Pleistocene), 7 sistemi che

includono depositi fluvio-deltizi e marini, differenziati sulla base della litologia, struttura e contenuto o meno di fossili (indici di ambiente di sedimentazione, marino o continentale, nonché marcatori temporali). Nel bacino della Val d'Elsa nello Zancleano e Gelasiano le sequenze deposizionali erano principalmente controllate da assottigliamento crostale, mentre durante il Piacenziano è stato registrato un segnale eustatico.

In linea di massima nell'intervallo temporale preso a riferimento dallo studio è possibile mettere in evidenza una trasgressione marina molto estesa a partire dal Pliocene inferiore che si è protratta per quasi tutto il Pliocene. La linea di costa del mare pliocenico ha quasi raggiunto l'attuale spartiacque fra il torrente Pesa e il fiume Greve. Successivamente, al netto di oscillazioni eustatiche minori, si è verificata una emersione progressiva dei depositi marini (Pliocene superiore), con conseguente attivazione dei fenomeni erosivi e seguito nell'area da una fase di stasi perdurata per tutto il Villafranchiano. Successivamente sono ripresi i movimenti di sollevamento, avvenuti in maniera non uniforme, ma per blocchi separati da faglie dirette, le più importanti delle quali presentano direzione appenninica, mentre le minori presentano andamento anti-appenninico. L'attività tettonica prosegue anche allo stato attuale con attività sismica modesta.

In particolare, il Comune di Certaldo presenta, da un punto di vista geologico, una dicotomia evidente all'interno del suo limite territoriale. Le aree di fondovalle del fiume Elsa e dei suoi principali affluenti sono caratterizzate dalla presenza di depositi alluvionali attuali e recenti, con uno spessore massimo di circa 20 metri (fondovalle del fiume Elsa) poggianti su un substrato pliocenico. Le aree collinari invece presentano una prevalente alternanza di depositi limoso/argillosi e sabbioso/ghiaiosi di origine prevalentemente marina (pliocene) e subordinatamente fluvio-lacustre continentale (pliocene/villafranchiano) aventi uno spessore complessivo di centinaia di metri.

I corsi d'acqua presenti sul territorio comunale sono allineati secondo due direzioni prevalenti: in direzione circa appenninica (ovest-nord ovest / est-sud est) i principali corsi d'acqua (Valle dell'Elsa); con allineamento antiappenninico (nord-nord est / sud-sud ovest), cioè ortogonalmente alla direzione appenninica, i corsi d'acqua minori.

Tutto ciò testimonia chiaramente un controllo strutturale sul reticolo idrografico, caratterizzato da una serie di dislocazioni che, evidentemente anche in epoca recente, si sono mobilitate secondo le due direzioni principali di sforzo tettonico (appenninico ed antiappenninico), creando linee di faglia e di frattura che hanno costituito una via preferenziale per l'impostazione delle linee di deflusso superficiale.

La successione stratigrafica delle formazioni che interessano il territorio comunale è costituita dalle unità geologiche riportate nella Carta geologica (QC.GE001) e di seguito riportate; ordinate dall'alto verso il basso.

#### Coperture antropiche

Coperture antropiche (h); Discarica (h1)

Materiale eterogeneo ed eterometrico di origine antropica.

### Depositi quaternari

Superficie di terrazzo (h)

#### Depositi eluvio-colluviali (b2a)

Coltre detritica ancora in posto dovuta all'alterazione della roccia o dei terreni del substrato (eluvio), talora mobilizzati ed accumulati ai piedi dei versanti o in piccoli impluvi dopo un breve trasporto per ruscellamento (colluvio).

Sono generalmente costituiti da sabbie, limi ed argille, talora pedogenizzati, con talvolta inclusi frammenti litoidi o ciottoli poco arrotondati. I depositi colluviali formano a volte delle spesse successioni stratificate contenenti orizzonti di alterazione e paleosuoli.

#### Conoide

Forma geomorfologica costituita da depositi di origine fluviale.

### Depositi alluvionali

Comprendono i depositi geneticamente connessi con la dinamica fluviale. Sono state distinte tre tipologie principali.

#### Depositi alluvionali in evoluzione (b)

Depositi degli attuali alvei fluviali e torrentizi soggetti ad evoluzione degli ordinari processi fluviali.

Sono costituiti da ghiaie, sabbie e subordinatamente da limi.

L'età è Olocene.

#### Depositi alluvionali recenti (bna) - Olocene

Depositi recenti, talora continui, talora di forma lenticolare prevalentemente incoerenti o pseudocoerenti, quali sabbie, ciottoli e ghiaie, in alcuni casi intercalati con livelli a granulometria minore quali argille-limi e sabbie fini, testimonianza diretta di forti eventi di esondazione (sedimenti più grossolani) e dei successivi periodi deposizionali di fine piena (materiali più fini).

Esiste una distinzione fra due tipi di sedimenti alluvionali (quelli dei fondovalle principali o comunque dotati di buone e/o medie caratteristiche geotecniche e quelli dei tributari minori dotati di caratteristiche peggiori) che è dovuta essenzialmente alla diversa consistenza degli stessi, maggiore per quelli del Fiume Elsa e degli altri corsi principali, come il Torrente Agliena, e nettamente minore per quelli dei tributari laterali, così come peraltro confermato dall'analisi dei dati di base. Tali diversi comportamenti possono essere ascritti alla difficoltà propria delle vallecole laterali a stabilire un buon drenaggio della falda, con la presenza quindi di sedimenti spesso saturi fino al livello del piano campagna.

#### Depositi alluvionali terrazzati (bn) - Pleistocene medio - superiore

Depositi alluvionali terrazzati in genere costituiti da ghiaie, sabbie e limi di colore bruno.

Le ghiaie, poste alla base, sono eterometriche, embriciate, in matrice sabbiosa, talora moderatamente alterate. Le sovrastanti sabbie e limi sono generalmente massivi o grossolanamente laminati e sono interessati da paleosuoli da poco a moderatamente sviluppati.

Questi depositi sono organizzati, in reazione alla loro genesi, in vari ordini; i depositi dei terrazzi più antichi sono da debolmente a mediamente alterati.

Lo spessore massimo di questi depositi è di alcuni metri.

#### Depositi Continentali Rusciniani e Villafranchiani

I depositi continentali villafranchiani sono terreni di origine prevalentemente fluvio-lacustre caratterizzati da un ampio range granulometrico che spazia dalle argille, argille limose, passando per i limi fino ad arrivare alle sabbie e alle ghiaie. Tali depositi poggiano su depositi marini pliocenici.

#### Sabbie e conglomerati (VILe)

Sabbie e conglomerati; spesso la componente fine è scarsa o concentrata in livelli sottili e diventano predominanti i terreni grossolani contenenti ciottoli e ghiaie di natura prevalentemente calcarea.

L'assetto è sub-orizzontale, con evidenti segni di basculamento verso ovest.

#### Sabbie e sabbie argillose (VILb)

Sabbie e sabbie argillose; sabbie medio fini e limi sabbioso argillosi giallastri.

#### Conglomerati (VILa)

Conglomerati e ciottolami poligenici, ciottolami polimodali a tessitura clasto-sostenuta con abbondante matrice sabbioso-limosa.

#### Depositi marini pliocenici

#### Sabbie e arenarie gialle (PLIs)

Sabbie medio-fini e limi sabbiosi giallastri massicci, talora laminati piani. Si tratta di sabbie grigie e gialle di ambiente litorale ben classate a composizione mineralogica mista; talora risultano stratificate, con livelli cementati e intercalazioni limo-argillose e/o ciottoloso-ghiaiose. Sono presenti lenti con accumuli di macrofossili e la giacitura è sub-orizzontale, con uno spessore di circa 100 metri.

#### Conglomerati marini poligenici (PLIb)

Sabbie medio-fini giallastre massive e subordinati corpi lenticolari ciottolosi.

#### Calcareniti e calciruditi bioclastiche (PLIc)

Ciottoli polimodali a tessitura clastosostenuta con abbondante matrice sabbioso-limosa in strati amalgamati, massicci, e sabbie medio-grossolane talora a laminazione piana o inclinata.

#### **Argille e argille siltose grigio-azzurre localmente fossilifere (FAA)**

Affioranti generalmente nelle parti basali dei versanti e ubicate nella porzione occidentale del Comune di Certaldo, rappresentano la base della sequenza pliocenica nel bacino della Val d'Elsa. Sono costituite da depositi prevalentemente fini dal caratteristico colore turchino e presentano talora intercalazioni più grossolane (sabbie limose) di spessore variabile, solitamente sede di piccoli acquiferi. Presentano frequenti eteropie laterali ed hanno giacitura suborizzontale; la sedimentazione è schiettamente marina di piana abissale, con spessori mal valutabili, ma che si possono stimare in 600 - 700 metri in base alle risultanze di perforazioni profonde.

È frequente una vasta fauna di lamellibranchi e gasteropodi, spesso sedimentati in livelli; la giacitura orizzontale (Zancleano finale-Piacenziano inferiore).

#### **Argille sabbiose e limi da nocciola a grigi (FAAb - Piacenziano)**

Si tratta di intercalazioni argilloso sabbioso limose all'interno del corpo principale delle argille.



## ELEMENTI GEOMORFOLOGICI

Dal punto di vista geomorfologico il territorio comunale evidenzia una stretta correlazione tra le forme e la litologia, come riportato nella Carta geomorfologica (QC.GEO02).

Il territorio comunale può essere distinto in un'area nord occidentale ad argille dominanti con le loro tipiche forme di evoluzione, sia mammellari che a calanchi, ed in un'area centrale e meridionale, posta a sud di Certaldo, in cui i versanti hanno caratteri di colline dominate da litologie alternate, prevalentemente sabbiose plioceniche; la porzione nord orientale, sul crinale da Marcialla a Fiano e Lucardo, invece è contraddistinta da litologie resistenti dominanti, quali sabbie e conglomerati villafranchiani.

Per quanto riguarda il dominio collinare, esso è caratterizzato principalmente da forme di origine gravitativa: frane attive o quiescenti, aree a franosità diffusa ed erosione superficiale, talvolta di notevole estensione e profondità. I centri abitati di Certaldo Alto e Marcialla sono stati interessati da fenomeni franosi di crollo.

La suddivisione territoriale dal punto di vista geologico può essere estrapolata, seppur con le dovute precisazioni, anche per quanto riguarda l'assetto geomorfologico; infatti le forme del paesaggio, nonostante una spinta antropizzazione, sono legate essenzialmente alla natura litologica dei terreni, che determina una differente risposta alla dinamica morfologica.

Le forme ed i processi geomorfologici legati alla dinamica di versante sono stati analizzati e cartografati in relazione al loro stato di attività, ai sensi del Regolamento Regionale 53/R.

La nomenclatura adottata è quella delle Specifiche Tecniche della banca dati Geomorfologica della Regione Toscana aggiornata a marzo 2017 (versione 1.2).

La classificazione dello stato di attività è basata sul periodo di attivazione o riattivazione; in base a questa suddivisione si è proceduto alla classificazione in fenomeni attivi, quiescenti e stabilizzati.

Relativamente alle scarpate queste sono state distinte, oltre che in base allo stato di attività, sulla base dell'altezza (maggiore o minore di 10 metri).

Per le frane, laddove possibile, sono state evidenziate la nicchia di distacco e la zona di accumulo e di scorrimento: queste ultime due sono state cartografate congiuntamente con un'unica simbologia, data l'impossibilità di una loro oggettiva distinzione.

Laddove non è stato possibile cartografare la frana, a causa della sua limitata estensione, se ne è indicata la presenza mediante opportuna simbologia (frana non cartografabile).

L'area di possibile evoluzione del dissesto è stata valutata coerentemente con la tipologia del fenomeno e con le ipotesi cinematiche ad esso connesse.

Le maggior parte delle frane presenti nel territorio sono del tipo a cinematica lenta (scorrimenti e soliflussi) e le aree di loro possibile evoluzione sono limitate alle immediate vicinanze dei movimenti di versante. Le aree di influenza non sono state quindi evidenziate all'interno della Carta geomorfologica.

Per le aree in dissesto, cartografate come frane attive, frane quiescenti e soliflussi, riportate nella Carta geomorfologica, si è tenuto conto delle relative aree di influenza, riferite alle aree di possibile evoluzione del fenomeno, nella redazione della Carta delle aree a Pericolosità

Geologica e della Carta delle aree a Pericolosità Sismica, così come concordato con la struttura tecnica della Regione Toscana. Infatti, le aree inserite in Pericolosità geologica molto elevata (G.4) ed in Pericolosità sismica molto elevata (S.4) individuano, oltre al dissesto stesso, l'area di possibile evoluzione; inoltre le aree limitrofe sono state inserite in Pericolosità geologica elevata (G.3).

Le scarpate con altezza maggiore sono presenti nella porzione nord orientale del territorio, San Donnino, Bagnano, Marcialla, Fiano, Betto, Casale, Vela e San Martino a Maiano. L'origine di queste scarpate è da ricollegare alla natura litologica, costituita da sedimenti a composizione prevalentemente sabbioso ciottolosa.

Queste scarpate sono soggette ad un progressivo arretramento; le aree di accumulo sono relativamente limitate, funzione anche dell'altezza della scarpata stessa.

Nello specifico, le zone con fenomeni complessi tali da compromettere in maniera significativa l'uso del territorio e da determinare in alcuni casi delle vere e proprie "Ravine Valley" si identificano con le località succitate dove si hanno scarpate con altezza maggiore di 10 metri.

Nel territorio comunale sono inoltre presenti forme e processi tipicamente fluviali o comunque imputabili all'energia erosiva e/o deposizionale dei corsi d'acqua, anche di dimensioni modeste.

Nella Carta geomorfologica sono state distinte varie forme originate dall'azione preponderante delle acque: solco erosivo di ruscellamento concentrato, corso d'acqua con tendenza all'approfondimento, orlo di scarpata fluviale (altezza inferiore a 10 metri) e area soggetta a dilavamento diffuso.

Sono, infine, state evidenziate forme di origine antropica come discariche, riporti, argini e scarpate.

## ASPETTI IDROGEOLOGICI

### Idrografia

Il territorio comunale è contraddistinto, dal punto di vista idrografico, essenzialmente dal Fiume Elsa e dai suoi affluenti di destra. Infatti, sviluppandosi esclusivamente in destra idrografica dell'Elsa, il territorio contiene al suo interno alcuni corsi d'acqua affluenti destri dell'Elsa di una certa rilevanza.

Il reticolo idrografico è caratterizzato dall'allineamento dei corsi d'acqua presenti secondo due direzioni prevalenti: - in direzione circa appenninica (WNW - ESE) i principali corsi d'acqua (Valle dell'Elsa); - con allineamento antiappenninico (NNE - SSW, cioè ortogonalmente alla direzione appenninica) i corsi d'acqua minori.

Tutto ciò testimonia chiaramente un controllo strutturale sul reticolo idrografico, caratterizzato da una serie di dislocazioni che, evidentemente anche in epoca recente, si sono mobilitate secondo le due direzioni principali di sforzo tettonico (appenninico ed antiappenninico), creando linee di faglia e di frattura che hanno costituito una via preferenziale per l'impostazione delle linee di deflusso superficiale.

In generale, l'idrografia è caratterizzata da un insieme di corsi d'acqua a carattere torrentizio che incidono rilievi, determinando la tipica configurazione a "v" delle valli minori. Solamente nel fondovalle maggiore (Elsa) il rilievo risulta più maturo, con una parte pianeggiante di discreta estensione caratterizzata da una fase deposizionale, piuttosto che da una fase erosiva.

Il reticolo idrografico e di gestione, individuato dalla Regione Toscana secondo quanto disposto dalla Legge regionale 79/2012, è stato approvato la prima volta nel 2013 e aggiornato con Delibera di Consiglio 101/2016, Delibera di Giunta 1357/2017 e Delibera 899/2018.

I corsi d'acqua principali e minori sono di seguito riportati:

- Fiume Elsa;
- Torrente Agliena, Torrente Pesciola di Sticciano;
- Borro del Pian Grande, Borro dei Tresanti, Borro del Pesciolino, Borro del Vicariato, Borro dell'Avanella, Borro della Corniola, Borro della Zufola, Borro di Avane, Borro dell'Inferno;
- Fosso Virginiolo, Rio degli Apoli, Rio del Fossato.

La pianura alluvionale principale (Elsa e Agliena) è stata caratterizzata negli ultimi decenni da estesi fenomeni di urbanizzazione, con profondo impatto sia sugli aspetti idrologici che del paesaggio.

### Caratteristiche di permeabilità

Le formazioni geologiche presenti nel territorio comunale possono essere qualitativamente classificate e raggruppate in una sola classe idrogeologica principale, sulla base delle loro caratteristiche litologiche e tessiturali, tenendo conto della loro capacità di contenere acqua e di farla defluire, in quanto non sono presenti sul territorio litotipi lapidei fratturati e/o

tettonizzati:

- a. Formazioni permeabili per Permeabilità Primaria, per porosità, se le caratteristiche di permeabilità e trasmissività sono proprie dei terreni, in funzione della loro litologia.

Le formazioni presenti, distinte inizialmente per tipo di permeabilità, sono state classificate in unità idrogeologiche in funzione del grado di permeabilità.

Si riportano di seguito le unità idrogeologiche individuate, sulla base dei contatti geologici, elencate secondo il grado di permeabilità.

#### Formazioni permeabili per permeabilità primaria

##### Permeabilità primaria molto bassa

###### *Argille Azzurre (FAA)*

Terreni caratterizzati da una permeabilità, primaria per porosità, molto bassa, in quanto costituiti litologicamente da argille, argille limose e sabbie argillose; talvolta sono presenti rare intercalazioni di sabbie.

In corrispondenza delle argille il comportamento idrogeologico è quello tipico di un corpo impermeabile, riferibile ad un acquicludo. In corrispondenza dei livelli sabbiosi invece si può assimilare ad un acquitardo.

##### Permeabilità primaria bassa

###### *Depositi eluvio-colluviali (b2a)*

Le coperture recenti sono generalmente caratterizzate da una permeabilità, primaria per porosità, scarsa. La permeabilità può comunque presentare un certo grado di variabilità, a seconda della presenza di matrice prevalente più o meno sabbiosa e del grado di compattazione dei depositi.

Analogamente per i depositi detritici di riporto la permeabilità sarà funzione dei materiali utilizzati e dal loro grado di compattazione.

###### *Argille sabbiose e limi (FAAb)*

Depositi dotati di una permeabilità, primaria per porosità, bassa a causa della loro litologia prevalentemente limoso sabbiosa e limoso argillosa.

La permeabilità di questi depositi può localmente assumere valori medi nei livelli e nelle intercalazioni di sabbie. Questi livelli, che consentono una certa circolazione idrica, comunque funzione della loro lenticolarità, sono da considerarsi acquiferi confinati.

##### Permeabilità primaria medio-bassa

###### *Depositi alluvionali terrazzati (bn)*

Depositi prevalentemente sabbioso-ghiaiosi dotati di una scarsa permeabilità, primaria per porosità, a causa della loro intensa pedogenesi.

L'intensità e la tipologia dei processi pedogenetici sono determinate, oltre che dal tipo di sedimento, dall'interazione di diversi fattori, quali la morfologia, le caratteristiche climatiche del territorio, il tempo e gli organismi viventi.

*Sabbie e sabbie argillose (VILb)*

Depositi dotati di una permeabilità, primaria per porosità, medio-bassa a causa della loro litologia prevalentemente sabbiosa e sabbioso-limoso-argillosa.

**Permeabilità primaria media**

*Sabbie e conglomerati (VILe)*

*Conglomerati (VILa)*

*Sabbie e arenarie (PLIs)*

*Conglomerati marini (PLIb)*

*Calcareniti e calciruditi (PLIc)*

Depositi continentali villafranchiani e depositi marini pliocenici caratterizzati da una permeabilità, primaria per porosità, media, in quanto litologicamente costituiti da sabbie, localmente sabbie limose, con intercalazioni di lenti ghiaiose, e ciottolami ad elementi arenacei in matrice sabbiosa grossolana.

Tali sedimenti rappresentano un corpo acquifero dotato di una buona porosità e permeabilità. La permeabilità può localmente diminuire in corrispondenza dei livelli e delle intercalazioni limoso-argillose.

Tuttavia si tratta di orizzonti isolati e poco produttivi con mancanza di una vera ricarica, o molto lenta, e con una potenzialità molto ridotta, soprattutto in corrispondenza di orizzonti dotati di un certo grado di cementazione oppure a causa della matrice argillosa presente anche nei corpi ghiaiosi.

**Permeabilità primaria alta**

*Depositi alluvionali recenti (bna)*

*Depositi alluvionali in evoluzione (b)*

In questa unità sono incluse le alluvioni recenti e attuali dei principali corsi d'acqua presenti sul territorio comunale.

I depositi alluvionali presenti nel fondovalle sono caratterizzati da una permeabilità estremamente variabile lungo il loro spessore.

I depositi alluvionali presenti nel fondovalle del fiume Elsa presentano un pattern stratigrafico di area vasta uniforme da sud a nord: al di sotto di uno spessore variabile di depositi alluvionali a granulometria variabile da argillosa a ghiaiosa con una prevalenza della componente limosa vi è uno strato di spessore medio di circa 5 m costituito da depositi prevalentemente ghiaiosi in matrice a granulometria variabile, che ne rappresenta, nel contesto alluvionale del fiume Elsa, il letto.

Da un punto di vista idrogeologico il livello superiore superficiale è caratterizzato da sedimenti scarsamente permeabili (argille limose, limi argillosi, limi sabbiosi, sabbie limose), comportando una scarsa infiltrazione delle acque meteoriche; il livello inferiore, caratterizzato da una permeabilità elevata a causa della sua composizione litologica (ghiaie sabbiose e sabbie), è posto a profondità mediamente comprese tra 16 e 22 metri dal piano di campagna, presenta uno spessore variabile dai 5 ai 7 metri ed è sede di una discreta circolazione idrica, garantita

dall'elevata permeabilità: è sede di un acquifero freatico, che risale fino a profondità medie nell'ordine di qualche metro dal piano campagna. Il tetto dell'acquifero si dispone a una profondità non costante a causa delle frequenti eteropie orizzontali dei depositi alluvionali, ma è generalmente compreso nei primi 5 metri dal piano di campagna.

La presenza di tale livello ghiaioso-sabbioso non è uniforme su tutta la pianura alluvionale dell'Elsa e risulta strettamente collegata con la presenza di paleoalvei o alvei sepolti del fiume principale.

In corrispondenza delle pianure alluvionali riferibili ai corsi d'acqua minori, i depositi alluvionali hanno generalmente uno spessore inferiore rispetto a quelli ascrivibili al Fiume Elsa; nelle pianure alluvionali minori i depositi sono generalmente costituiti da litologie limoso-argillose o sabbiose, in corrispondenza delle quali la permeabilità può localmente assumere valori medi.

Ovunque l'acquifero freatico è delimitato verso il basso dai depositi marini pliocenici, che costituiscono il substrato impermeabile dei depositi alluvionali.

Il coefficiente di permeabilità K, che ha le dimensioni di una velocità, mostra, in generale, una vasta gamma di valori che vanno da  $10^1$  a  $1 \cdot 10^{-11}$  m/sec, e che sono anche funzione della granulometria. Il limite inferiore dei serbatoi impermeabili è stato fissato, convenzionalmente, ad un valore  $1 \cdot 10^{-9}$  m/sec.

Nella tabella, modificata da Castany G., "Idrogeologia, principi e metodi", è riportata la relazione esistente nei depositi alluvionali tra le dimensioni dei granuli e il coefficiente di permeabilità K, che può essere utilizzata come stima qualitativa.

K (m/s)								
		10	1	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-9</sup>
granulometria	omogenea	ghiaia		sabbia	sabbia molto fine	silt	argilla	
	varia	ghiaia medio grossa	ghiaia e sabbia	sabbia, limo e argilla				
gradi di permeabilità		elevata			bassa		nulla	
tipi di formazioni		permeabili			semipermeabili		impermeabili	

Tabella 1 - Relazione tra granulometria e coefficiente di permeabilità nei depositi alluvionali (modificato da Castany G.).

### Vulnerabilità degli acquiferi

La vulnerabilità degli acquiferi è stata valutata sulla base dei seguenti parametri:

1. tipo e grado di permeabilità dei terreni;
2. tipologia e spessore della copertura dell'acquifero;
3. soggiacenza della superficie piezometrica;
4. relazione tra la superficie freatica e i corsi d'acqua naturali e artificiali.

In relazione alle caratteristiche litologiche e idrogeologiche del territorio comunale, sono state individuate tre delle quattro classi di vulnerabilità intrinseca definite dal PTCP; la cartografia risultante, pur mantenendo le linee guida individuate dal PTCP, fornisce un quadro conoscitivo di maggiore dettaglio in relazione alla scala del rilievo ed alle maggiori informazioni relative alle caratteristiche della falda.

#### **Vulnerabilità bassa**

L'unità comprende gli acquiferi di limitata produttività presenti nei sedimenti a grana fine (limi e argille - Argille Azzurre, Argille sabbiose e limi) praticamente privi di circolazione idrica sotterranea, in cui l'inquinamento è limitato alle acque superficiali.

#### **Vulnerabilità media**

L'unità comprende acquiferi di modesta importanza nei sedimenti costituiti da sabbie e ciottolami con interposti livelli limoso-argillosi, generalmente con copertura poco permeabile (ciottolami e sabbie, ghiaie e ciottolami, ghiaie con sabbie, sabbie e sabbie argillose) o materiali con granulometria variabile da sabbie a argille con protezione di materiali fini.

#### **Vulnerabilità elevata**

Acquifero superficiale in materiali alluvionali a granulometria da grossolana a media (alluvioni recenti), senza o con scarsa protezione, la cui superficie è localmente al disotto del livello di base dei fiumi vicini.

Dall'analisi della Carta Idrogeologica (QC.GEO03) risulta che le aree di fondovalle, occupate da depositi alluvionali recenti, presentano valori di elevata vulnerabilità; nelle valli principali si riscontrano difatti importanti acquiferi, scarsamente o non sufficientemente protetti, mentre i sedimenti delle valli secondarie sono sede di acquiferi di minore importanza ma caratterizzati da una tavola d'acqua molto superficiale e in rapporto con la falda principale.

#### **Acquiferi freatici e Censimento dei pozzi**

Durante la redazione delle presenti indagini geologiche è stato effettuato un censimento dei pozzi presenti nel territorio comunale, limitatamente alle aree di fondovalle, in corrispondenza dei depositi alluvionali sede di falde freatiche.

Sono stati presi in esame i medesimi pozzi censiti nel novembre 2002 per la redazione del precedente Piano Strutturale, in totale circa cento pozzi/livelli idrometrici, la cui ubicazione è indicata nella Carta idrogeologica (QC.GEO03) ed in quella delle Evidenze Idrogeologiche (QC.GEO04).

La maggior parte dei pozzi sono scavati a mano e rivestiti in pietra o in mattoni, con profondità che raramente superano i 4-5 metri dal piano campagna, mentre quelli ad anelli in cls sono in numero minore, con profondità che generalmente varia da 6-15 metri dal p.c.; il rimanente è rappresentato da pozzi artesiani con rivestimento in ferro o in P.V.C., la cui profondità massima si colloca fra i 18 e i 22 metri dal p.c.. I pozzi che attingono nella pianura alluvionale

del Fiume Elsa non superano generalmente la profondità di 20 metri: questo valore è presumibilmente da riferirsi allo spessore massimo dei depositi alluvionali, che hanno come substrato impermeabile i depositi marini pliocenici, costituiti da depositi limoso-argillosi impermeabili, in corrispondenza dei quali si arrestano le perforazioni.

Il censimento è stato effettuato nel periodo settembre-ottobre 2018.

Dall'elaborazione dei risultati ottenuti durante la campagna di misura è stato possibile ricostruire la geometria della falda freatica in corrispondenza delle aree di fondovalle.

Il livello è stato misurato in assenza di pompaggio, uniformando alcuni valori "anomali" per la successiva elaborazione dei tematismi (isofreatiche e soggiacenza). L'elaborazione informatica dei dati è stata realizzata mediante il software ArcGIS 10. In primo luogo sono stati inseriti tutti i punti di misura all'interno della banca dati e, successivamente, grazie all'estensione Geostatistical Analyst, sono stati esaminati i dati in nostro possesso tramite l'istogramma di frequenza e il semivariogramma.

Dopo queste analisi preliminari dei dati è stata effettuata una interpolazione dei livelli piezometrici misurati, con i metodi *Inverse Distance Weighting* e *Kriging*. Entrambe le elaborazioni hanno fornito buoni risultati; sono stati scelti i metodi che hanno fornito errori minori.

L'interpolazione così ottenuta è stata poi convertita e utilizzata come base per la realizzazione delle curve piezometriche, con equidistanza di 1 metro per le principali, verificando la presenza di eventuali errori e confrontando i risultati con le cartografie precedenti.

La ricostruzione della superficie freatica ha evidenziato una variazione rispetto alle quote del censimento del 2002 di circa 0.5-1.0 metro.

Le falde presenti nel territorio indagato sono influenzate dai corsi d'acqua presenti, dalle precipitazioni meteoriche e dalle acque di ruscellamento superficiale provenienti dai versanti; si evince dunque una marcata variabilità stagionale.

Sulla base della campagna di misura, effettuata nel periodo settembre-ottobre 2018, e delle successive elaborazioni sopra descritte, è stata redatta la Carta Idrogeologica (QC.GEO03) e quella delle Evidenze Idrogeologiche (QC.GEO04), in cui sono riportate le isofreatiche con equidistanza per le principali pari a 1 metro.

Per quanto riguarda le risorse idriche destinate al consumo umano che riveste carattere di pubblico interesse, sono stati ubicati, nella Carta delle Evidenze Idrogeologiche (QC.GEO04), i pozzi del Gestore idrico, tutti esterni al confine comunale, così come riportato nella banca dati del Comune di Certaldo e nella Mappatura delle captazioni idriche sotterranee e superficiali ai fini idropotabili della Regione Toscana, costruita su dati forniti dall'Autorità Idrica Toscana.

Tali approvvigionamenti sono soggetti alla disciplina delle aree di salvaguardia di cui all'articolo 94 del D. Lgs. 152/2006 che prevede:

- zone di tutela assoluta: area circostante le captazioni di estensione di almeno 10 metri adeguatamente protetta e adibita esclusivamente alle opere di presa.
- zone di rispetto: porzione di territorio circostante la zona di tutela assoluta di estensione pari a 200 metri dal punto di captazione dove sono vietate alcune attività fra cui spandimento di concimi e prodotti fitosanitari in assenza di un piano di utilizzazione



disciplinato dalla Regione, pascolo e stabulazione del bestiame, gestione dei rifiuti, stoccaggio di prodotti o sostanze chimiche pericolose.

Per tali opere di captazione è stata individuata, ai sensi del Decreto legislativo 152/06, una zona di rispetto avente un raggio di 200 metri dall'opera, che interessa in parte anche il territorio comunale, pur essendo le opere di captazione esterne ad esso (QC.GEO04).

L'unica eccezione all'interno del territorio comunale è costituita dalla Sorgente Semifonte, in località San Michele (QC.GEO04).

#### Disponibilità idrica dell'acquifero

Per la redazione della Carta delle Evidenze Idrogeologiche (QC.GEO04) sono stati consultati i tematismi del Piano di Bacino del Fiume Arno, Stralcio "Bilancio Idrico", ovvero lo strumento per la definizione delle condizioni di criticità della risorsa idrica superficiale e sotterranea, e per l'imposizione di vincoli di sfruttamento sostenibile della stessa.

Il bilancio idrico, definito alla scala del bacino idrografico, è espresso dall'equazione di continuità dei volumi entranti, uscenti ed invasati nel bacino superficiale e idrogeologico, al netto delle risorse necessarie per la conservazione degli ecosistemi acquatici e dei fabbisogni per i diversi usi.

È l'indispensabile strumento conoscitivo su cui fondare la gestione della risorsa idrica nonché la base scientifica sulla quale costruire, all'interno dei piani di tutela, le analisi, gli studi previsionali e le strategie volte al perseguimento degli obiettivi di qualità e più in generale i programmi e le azioni di governo del territorio.

Fornisce inoltre gli strumenti per la regolazione amministrativa dei prelievi, sia superficiali che sotterranei, in un quadro tecnico chiaro ed unitario.

Nel contesto alluvionale di fondovalle è stato messo in evidenza il grado di disponibilità delle acque sotterranee suddividendolo in quattro classi di disponibilità idrica, sulla base dell'individuazione delle aree omogenee per disponibilità residua, cui è attribuita una classe di disponibilità, come riportato nelle *"Zonazione delle aree a diversa disponibilità di acque sotterranee degli acquiferi di pianura"*, Stralcio "Bilancio Idrico", secondo la seguente ripartizione:

a) *Aree a disponibilità molto inferiore alla capacità di ricarica (D4)*, in cui il disavanzo relativo fra la ricarica media su unità di superficie e i prelievi risulta molto elevato;

b) *Aree a disponibilità inferiore alla capacità di ricarica (D3)*, in cui il disavanzo relativo fra la ricarica media su unità di superficie e i prelievi risulta elevato;

c) *Aree a disponibilità prossima alla capacità di ricarica (D2)*, in cui la ricarica media su unità di superficie è congruente con i prelievi in atto;

d) *Aree ad elevata disponibilità (D1)*, in cui la ricarica media su unità di superficie è superiore ai prelievi in atto.

Secondo tale zonazione la maggior parte della pianura alluvionale rientra in classe D2, alcune porzioni limitate in classe D1, mentre le porzioni in prossimità delle captazioni ad uso idropotabile rientrano in classe D3 e D4 (QC.GEO04).

In tali zone i prelievi sono disciplinati dalle Norme di Piano stralcio "Bilancio Idrico".

L'obiettivo strategico per l'acquifero di fondovalle è perseguito attraverso la pianificazione

e gestione della risorsa idrica attuata e disciplinata secondo i criteri di cui alle Norme di Piano stralcio "Bilancio Idrico", al fine di una corretta distribuzione dei prelievi sull'acquifero interessato attraverso l'imposizione di vincoli di sfruttamento sostenibile della risorsa idrica superficiale e sotterranea, in funzione delle condizioni di criticità evidenziate.

Infine, a seguito della consultazione della banca dati ARPAT Archivio NIT\_STATO, ovvero Stato della qualità delle acque - Presenza di nitrati, contenente i dati analitici acquisiti da ARPAT nell'ambito di campagne di monitoraggio previste dalla Direttiva europea sui Nitrati 91/676, non sono state rilevate zone vulnerabili da nitrati.

## ELEMENTI LITOLOGICO-TECNICI

I vari litotipi presenti nel territorio comunale sono stati raggruppati in unità in base alle loro caratteristiche tecniche.

I terreni sono stati raggruppati sulla base del rilievo geologico e dei dati geotecnici derivanti dalle indagini geognostiche raccolte negli archivi comunali.

La finalità, in accordo con il Programma Valutazione degli Effetti Locali (VEL), è quella di raggruppare i vari litotipi individuati in Unità Litologico-Tecniche (ULT) sulla base delle loro caratteristiche fisico-meccaniche e di determinare la corrispondenza con i parametri che caratterizzano la litologia dal punto di vista della risposta sismica. Pertanto le unità litologico-tecniche raggruppano i terreni in funzione delle loro caratteristiche fisico-strutturali e dei loro parametri geotecnici e geofisici, indipendentemente dalla loro posizione stratigrafica e dai relativi rapporti geometrici.

Di seguito si riportano le Unità Litologico-Tecniche della Carta Litotecnica (QC.GEO05) per la redazione della quale si è fatto riferimento alle indicazioni del Programma Valutazione Effetti Locali (VEL).

### Unità Litologico-tecnica C

Rocce e rocce deboli costituite da materiale prevalentemente granulare con grado di cementazione medio basso, che presentano caratteristiche intermedie fra quelle delle rocce e quelle dei terreni in senso stretto.

#### *Unità C1*

Conglomerati e brecce clasto sostenuti. Sono inseriti in questa unità i Conglomerati e ciottolami poligenici (VILa) e la Calcareniti e calciruditi bioclastiche (PLIc).

#### *Unità C2*

Conglomerati e brecce matrice sostenuti (matrice prevalentemente granulare - sabbiosa e/o sabbioso limosa); roccia debole, terreno lievemente cementato. Sono inseriti in questa unità le Sabbie e Conglomerati (VILe) e i Conglomerati marini poligenici (PLIb).

#### *Unità C3*

Sabbie cementate, arenarie deboli. Sono inseriti in questa unità le Sabbie e sabbie argillose (VILb) e le Sabbie e arenarie gialle (PLI).

### Unità Litologico-tecnica D

Terreni coesivi con consistenza elevata.

#### *Unità D1*

Terreni coesivi con consistenza elevata: granulometria dominante: limi e limi sabbiosi. Sono inseriti in questa unità le Argille sabbiose e limi (FAAb).

#### *Unità D2*

Terreni coesivi con consistenza elevata: granulometria dominante: argille e limi. Sono inseriti in questa unità le Argille e argille siltose grigio-azzurre (FAA).

### Unità Litologico-tecnica E

Terreni con stato di addensamento da addensato a sciolto costituiti da materiale prevalentemente granulare non cementato o con lieve grado di cementazione.

#### *Unità E2*

Depositi alluvionali in evoluzione (b).

Granulometria dominante: ghiaie e ghiaie e sabbie.

### Unità Litologico-tecnica F

Terreni coesivi a bassa consistenza.

#### *Unità F*

Depositi eluvio-colluviali (b2), Depositi alluvionali recenti (bna) e terrazzati (bnb).

Limi e limi argillosi da consistenti a moderatamente consistenti con presenza di frazione sabbiosa.

Per una maggiore definizione delle caratteristiche territoriali in termini di interazioni fra attività antropiche e dominio naturale, e ai fini della salvaguardia della risorsa idrica superficiale e sotterranea, è stato consultato il Piano Provinciale per la Gestione dei Rifiuti - Terzo Stralcio "Bonifica delle aree inquinate", Piano Operativo di Censimento (P.O.C.) 2008, e il portale ARPAT - SIRA, Banca dati delle Zone Vulnerabili ai Nitrati - ZVN e Sistema Informativo Siti interessati da procedimenti di BONifica - SISBON.

Come già detto nel paragrafo precedente non sono state rilevate zone vulnerabili da nitrati.

I siti oggetto di procedimento di bonifica attivo, indicati nel database SISBON dell'agenzia ARPAT, sono riportati nella Carta Litotecnica (QC.GEO05).

## DATI DI BASE

Ai fini della raccolta delle indagini geognostiche effettuate sul territorio comunale e della stesura della Carta dei Dati di base (QC.GEO06), della Carta delle Indagini (QC.MZS09), anche in funzione della stesura della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS), è stata realizzata una approfondita ricerca bibliografica ed in rete.

In particolare sono stati consultati:

- Archivi comunali e indagini geologico-tecniche di supporto ai previgenti Piani Strutturali, anche dei comuni limitrofi;
- Portale del Servizio Geologico d'Italia (ISPRA), in particolare l'archivio 'Indagini del sottosuolo (L. 464/84);
- Consultazione degli archivi della Regione Toscana, in particolare della Banca Dati del sottosuolo (LaMMA), della Banca Dati indagini geotematiche (BDIG) e della Banca Dati stratigrafica della Toscana (SIRA).
- Sistema Informativo Territoriale della Provincia di Firenze (oggi Città metropolitana di Firenze), relativamente alle stratigrafie dei pozzi.

La ricerca ha avuto oggetto l'intero territorio comunale: in totale sono stati raccolti, catalogati ed archiviati digitalmente i dati relativi a n. 831 verticali puntuali di indagine e n. 69 indagini lineari sull'intero territorio comunale, raccolti in 12 tomi:

- n. 9 tomi per le indagini geotecniche (QC.GEO07.01-09);
- n. 1 tomo per i pozzi (QC.GEO07.10);
- n. 2 tomi per le indagini geognostiche e geofisiche per la microzonazione sismica - (QC.GEO07.11-12).

Oltre alle indagini raccolte, nella Carta dei Dati di Base sono riportate le indagini di nuova realizzazione utilizzate per la redazione dello studio di Microzonazione Sismica.

Le indagini geognostiche sono costituite variamente da sondaggi a carotaggio continuo, saggi geognostici, prove penetrometriche, sia statiche che dinamiche, analisi e prove geotecniche di laboratorio, indagini geofisiche con varie metodologie.

Le indagini specifiche ex-novo per la Microzonazione Sismica, eseguite in accordo con i tecnici della Regione Toscana, sono state invece svolte in corrispondenza dei centri urbani maggiormente significativi, secondo le specifiche tecniche di cui al §1.B.1.2 delle Istruzioni Tecniche del Programma VEL e secondo i criteri definiti al §3.4.2 degli ICMS.

Le indagini in corrispondenza dei centri abitati significativi sono rispettivamente n. 545 indagini puntuali e n. 47 indagini lineari, catalogate ed archiviate secondo gli Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica e riportate nella Carta delle Indagini (QC.MZS09).

Tra queste sono annoverate le indagini specifiche svolte ex-novo, costituite da:

- n. 34 misure di sismica passiva con tecnica a 'stazione singola' (HVSR), realizzate in due fasi distinte; le prime 30 nel 2018. Le seconde 4 nel 2020;
- n. 2 misure di sismica passiva acquisite con array bidimensionali ESAC;
- n. 5 misure di sismica attiva acquisita con array monodimensionale e tecnica a rifrazione;

- n. 17 prove penetrometriche statiche con punta elettrica (CPTU).

Per le metodologie di indagine ed i risultati completi relativi alle indagini geofisiche si rimanda per completezza alla relazione sulle Indagini geofisiche (QC.GEO07).

Le ubicazioni delle indagini sono state riportate nella Carta dei Dati di base per l'intero territorio comunale (QC.GEO06) e nella Carta delle indagini per quelle rappresentative per lo studio di microzonazione (QC.MZS09), realizzata sia in formato cartaceo che digitale (GIS) in scala 1:5.000, utilizzando la simbologia prevista dagli 'Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica' redatti dal DPC (versione 4.1, Ottobre 2017).

La Carta delle Indagini rappresenta quella prevista nell'ambito del vigente 53/R e degli studi di Microzonazione Sismica.

Sulla base delle indagini specifiche per lo studio di Microzonazione Sismica è stata inoltre realizzata, in corrispondenza dei centri urbani significativi, la Carta delle frequenze fondamentali dei depositi, in scala 1:5.000 (QC.MZS12). Tale elaborato riporta l'ubicazione di tutte le misure di rumore ambientale mediante tecnica a stazione singola (HVSR), con i relativi valori della frequenza fondamentale ( $f_0$ ) e dell'ampiezza dei picchi fondamentali ( $A_0$ ).

Per una trattazione completa relativa agli aspetti sismici si rimanda alla specifica Relazione tecnica illustrativa (QC.MZS14) di supporto allo studio di Microzonazione Sismica (MS).

## CARTA DELLE FREQUENZE FONDAMENTALI DEI DEPOSITI

Dalle indagini specifiche di natura geofisica per lo studio di Microzonazione Sismica è stata inoltre realizzata, in corrispondenza dei medesimi abitati significativi, la Carta delle frequenze fondamentali dei depositi (QC.MZS12), in scala 1:10.000. Tale elaborato riporta l'ubicazione di tutte le misure di rumore ambientale mediante tecnica a stazione singola (HVSR), con i relativi valori della frequenza fondamentale ( $f_0$ ) e dell'ampiezza dei picchi fondamentali ( $A_0$ ).

Per le metodologie di indagine ed i risultati completi relativi alle indagini geofisiche si rimanda per completezza ai report sulle Indagini geofisiche.

La campagna di misure strumentali è stata realizzata in corrispondenza dei centri abitati significativi individuati e distribuita in maniera uniforme, tenendo conto della distribuzione delle altre indagini pregresse disponibili e delle condizioni litostratigrafiche e geologiche del sito.

La rappresentazione grafica scelta è stata quella semplificata con l'ubicazione dei punti di misura distinti con dei cerchi di colore variabile in funzione della frequenza del picco e con raggio variabile in funzione dell'ampiezza, secondo la legenda tipo riportata nell'Appendice 3 dell'Allegato A della Deliberazione 5 febbraio 2015 n. 144 L.R. 58/2009 - OPCM 4007/2012 ART.2 COMMA 1. LETT. A - *Studi di microzonazione sismica. Approvazione delle nuove specifiche tecniche regionali per l'elaborazione di indagini e studi di microzonazione sismica*; ad uno stesso punto di misura sono stati talvolta associati più cerchi a seconda del numero di picchi fondamentali individuati.

Lo scopo di tale indagine è stato quello di individuare qualitativamente zone caratterizzate o meno da fenomeni di risonanza significativi e quelle caratterizzate da alti contrasti di impedenza.

Inoltre l'elaborazione dei risultati ottenuti ha fornito indicazioni e conferme ai fini della ricostruzione del Modello geologico di sottosuolo per la stesura delle MOPS, con particolare riferimento al confronto tra lo spessore delle coperture stimate e le frequenze fondamentali (*Albarello et al.*, 2010).

Il moto sismico è amplificato in corrispondenza di determinate frequenze, che corrispondono alle frequenze naturali di vibrazione di un deposito.

Di particolare importanza è la prima frequenza naturale di vibrazione denominata frequenza fondamentale di risonanza, che dipende dallo spessore H della copertura e dalla velocità media delle Vs della stessa secondo la relazione:

$$v = V_s/4H$$

L'interpretazione delle misure eseguite consente di correlare il valore di picco dello spettro di risposta HVSR con la profondità del substrato (bedrock sismico) e di individuare una corrispondenza fra i valori di frequenza relativi alle discontinuità sismiche e le variazioni litologiche presenti nel sottosuolo.

L'interpretazione delle misure H/V deve essere sempre tarata sulla base di indagini dirette, che consentano una correlazione con la stratigrafia di sottosuolo.

Come emerge dai risultati ottenuti le misure sismiche realizzate, sia HVSR che ESAC,

rispecchiano in generale l'assetto geologico del sottosuolo e collimano con il modello stratigrafico emerso dai dati geognostici acquisiti.

Dalle misure H/V non si evidenziano nel complesso contrasti ed amplificazioni rilevanti.

Alcune eccezioni sono date da alcune indagini ubicate in particolare:

- nel contesto di fondovalle si evidenzia una leggera amplificazione sismica intorno a circa 2/3 Hz, in alcuni casi più accentuata verso i 3/3.5 Hz, corrispondenti a circa 20 m di profondità (T1, T2, T4, T7, T9, T17);
- nel contesto collinare meridionale, in prossimità della piana del Torrente Agliena, che mostrano un picco più significativo a frequenze nell'ordine di circa 0.3 Hz (T18, T19, T20);
- nel contesto collinare villafranchiano, in corrispondenza dell'abitato di Fiano, che evidenziano una certa amplificazione sismica intorno a circa 0.9 Hz ed a 4.8-6.8 Hz (T26, T29), che potrebbero essere correlabili al passaggio fra livelli conglomeratici più consistenti (per il contrasto superficiale) ed al passaggio a depositi pliocenici più compatti (per il contrasto più profondo);
- nel contesto collinare villafranchiano, in corrispondenza dell'abitato di Marcialla (nella porzione all'interno del confine comunale di Certaldo), emerge chiaramente in tutte le misure (T31, T32, T33, T34) un picco in bassa frequenza (tra 0.7 e 0.9 Hz) attribuibile al passaggio tra i depositi villafranchiani più superficiali ed i depositi pliocenici più profondi, a profondità di circa 100 - 150 metri. I picchi a più alta frequenza osservati nelle misure T32 e T34 sono invece da attribuirsi a contrasti all'interno dei depositi villafranchiani in particolar modo tra depositi meno consistenti superficiali e livelli conglomeratici a profondità inferiori a 10 metri;
- ESAC E1 ed E2, rispettivamente a Fiano e Gorgognano, che raggiungono velocità assimilabili ad un 'bedrock' sismico intorno a profondità variabili da 50 a 150 m.

Tuttavia, in nessuno di questi casi può essere stimata una profondità del substrato litoide neogenico: per quanto riguarda il contrasto di impedenza superficiale (profondità circa 20/30 m) esso, essendo riscontrabile solo nelle indagini sismiche di piana alluvionale, corrisponde al passaggio fra depositi alluvionali e depositi pliocenici; gli altri sono tutti assimilabili a contrasti dovuti a litologie più consistenti all'interno del 'dominio pliocenico'.

Lo studio delle frequenze fondamentali dei depositi può fornire anche indicazioni di supporto ingegneristico per la progettazione e la salvaguardia dell'edificato.

Infatti la frequenza caratteristica di risonanza del sito rappresenta un parametro fondamentale per un corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale; confrontando infatti la frequenza naturale del terreno con la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio è possibile capire se, in caso di sisma, la struttura possa essere a rischio o meno.

Qualora venga riscontrata la condizione per cui la frequenza di risonanza di un edificio sia pari o analoga alla frequenza naturale del terreno sottostante, può verificarsi una situazione potenzialmente pericolosa, conosciuta come fenomeno della 'doppia risonanza', per il quale si



ha la massima amplificazione in caso di sisma, con aumento considerevole delle sollecitazioni sull'edificio.

Da un punto di vista empirico la frequenza di risonanza di un edificio dipende principalmente dalla sua altezza e può essere quindi approssimativamente calcolata con la formula (cfr. es. Pratt):

$$\text{frequenza di risonanza edificio} = 10\text{Hz} / \text{Numero di piani}$$

La misurazione diretta HVSR fornisce dati precisi ed attendibili sulle frequenze di vibrazione.

Ai sensi della normativa vigente (§7.3.3.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni 2008), si riportano valutazioni in merito, nel caso di un'analisi lineare statica, ovvero una analisi lineare dinamica semplificata in cui non si effettua l'analisi dinamica della costruzione per determinare i modi di vibrare 'naturali' della stessa, e si ipotizza un modo di vibrare principale caratterizzato da un periodo  $T_1$  calcolato in maniera approssimata e da spostamenti linearmente crescenti con l'altezza dal piano di fondazione, ai quali corrisponde la distribuzione di forze statiche da applicare alla costruzione.

Per costruzioni civili e industriali che non superino 40 m di altezza e la cui massa sia approssimativamente uniformemente distribuita lungo l'altezza,  $T_1$  può essere stimato, in assenza di calcoli più dettagliati, con la formula seguente:

$$T_1 = C_1 \cdot H^{3/4}$$

dove  $H$  è l'altezza della costruzione in metri dal piano di fondazione e  $C_1$  è un coefficiente funzione del tipo di struttura.

Valutazioni di questo tipo consentono una progettazione tenendo conto anche delle frequenze di vibrazione, che possono dar luogo ad una combinazione degli effetti sismici su edifici generalmente caratterizzati da periodi del moto di vibrazione simili a quelli del terreno.

## CARTA GEOLOGICO-TECNICA

Sulla base di una accurata revisione delle cartografie di base, in particolare di quelle geologiche, geomorfologiche, unitamente all'elaborazione dei dati litologici, stratigrafici, litotecnici e sismici acquisiti, nonché ad un controllo in situ mediante rilevamento, è stata elaborata e redatta la Carta geologico-tecnica in scala 1:5.000 (QC.MZS10), quale carta di sintesi ed elaborato propedeutico alla stesura della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS).

La Carta geologico-tecnica è stata realizzata utilizzando la simbologia prevista dagli 'Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica' redatti dal DPC (versione 4.1, Ottobre 2017).

Nell'ambito di tale revisione è stata posta particolare attenzione alla mappatura dei depositi di copertura, alla ricostruzione dettagliata delle forme geomorfologiche, dei fenomeni gravitativi di versante e/o delle aree instabili.

Per quanto riguarda la presenza di orli di terrazzi fluviali questi non hanno altezze tali da considerarli dal punto di vista dell'amplificazione sismica; le scarpate morfologiche di altezze più rilevanti sono individuabili immediatamente a valle di Fiano e Marcialla e localmente nella parte alta di Certaldo (Certaldo Alto). Sono stati inoltre riportati gli assi di paleoalveo relativi alle evoluzioni dell'alveo dell'Elsa. Non sono presenti faglie da considerarsi potenzialmente attive e capaci.

Sono stati indicati anche elementi puntuali geologici quali la giacitura degli strati in corrispondenza dei depositi marini pliocenici e fluvio-lacustri villafranchiani e l'indicazione della profondità dei sondaggi o pozzi, nessuno dei quali raggiunge il substrato rigido, nonché la profondità della falda limitatamente alle zone di pianura alluvionale.

Per quanto riguarda i terreni di copertura, questi sono stati raggruppati in funzione della litologia prevalente e dell'ambiente deposizionale che li ha originati.

Il substrato geologico rigido, come spiegato in precedenza, non è riscontrabile nell'area in esame; quindi tutti i depositi marini o continentali fluvio-lacustri affioranti, differenziati nelle varie classi granulometriche (da argille a ghiaie) e sulla base del grado di consistenza (da scarsamente consistenti a consistenti o molto consistenti), presentano nel loro complesso un comportamento sismico omogeneo tale per cui sono classificabili come "copertura".

Sono stati dunque distinti i seguenti gruppi, secondo la classificazione proposta dalle Specifiche Tecniche Regionali, riportati in Figura.

In particolare, *SMTm* e *CLtm* sono ascrivibili ai depositi marini pliocenici, rispettivamente alle sabbie (PLI) ed alle argille azzurre (FAA e FAAb); invece *GMfl* e *SCfl* sono ascrivibili ai depositi villafranchiani, a seconda della prevalenza della componente conglomeratica, infine *CLpi* è ascrivibile ai depositi alluvionali di fondovalle.

Per quanto riguarda gli aspetti relativi alle forme e processi geomorfologici legati alla dinamica di versante, questi sono stati analizzati e cartografati relativamente al loro stato di attività, ai sensi del Regolamento Regionale 53/R, e riportati analogamente alla Carta Geomorfologica (QC.GEO02):

- stato attivo, qualora siano presenti evidenze morfologiche di movimento che, non avendo esaurito la loro evoluzione, possono considerarsi recenti, riattivabili nel breve periodo con frequenza e/o con carattere stagionale;
- stato quiescente, qualora siano presenti evidenze morfologiche che, non avendo esaurito la loro evoluzione, hanno la possibilità di riattivarsi;

Le aree di fondovalle che presentano depositi alluvionali prevalentemente sottofalda, suscettibili di liquefazione, sono state analizzate stimandone il potenziale di liquefazione mediante metodi semplificati che utilizzano prove penetrometriche statiche, in particolare il metodo di Robertson e Wride (1998), basato sulla determinazione della resistenza al taglio mobilitata dai valori di resistenza alla punta delle suddette prove. A tal proposito si allega un "elaborato" con la stima del potenziale eseguito per alcune prove penetrometriche eseguite per la microzonazione sismica (CPTU).

Dalle risultanze analitiche non sono emerse problematiche di suscettibilità alla liquefazione (QC.MZS14); tale risultato era già comunque evidenziato dalle stesse prove CPTU (TOMO QC.GEO07.11), i cui diagrammi risultanti presentano una granulometria, seppur variabile, ma con prevalenza della componente coesiva (*clay*).

Sono state infine evidenziate aree di potenziale instabilità e di attenzione per cedimenti differenziali, corrispondenti ad aree antropiche caratterizzate da presenza di rilevanti orizzonti superficiali di riporto aventi caratteristiche geotecniche scadenti.

## EFFETTI LOCALI DI SITO PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO

### CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS)

In relazione alla riduzione del rischio sismico gli elementi evidenziati per la valutazione degli effetti locali e di sito, sono stati quelli ritenuti utili alle successive fasi di caratterizzazione sismica dei terreni e di parametrizzazione dinamica riferite alla realizzazione o verifica dell'edificato. A tal fine, oltre all'acquisizione di ogni informazione esistente finalizzata alla conoscenza del territorio sotto il profilo geologico e geomorfologico, sono stati acquisiti elementi per una ricostruzione e successiva rappresentazione del modello geologico-tecnico di sottosuolo, sia in termini di geometrie sepolte e di spessori delle litologie presenti (mediante la raccolta delle indagini che costituiscono la Carta delle Indagini), sia in termini di parametrizzazione dinamica principalmente in relazione a misure dirette delle Vsh e di rumore ambientale mediante tecnica a stazione singola (HVSr).

Nello specifico 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 verificarsi diverse tipologie di effetti locali o di sito prodotti dall'azione sismica.

In particolare nella valutazione degli effetti locali o di sito ai fini della riduzione del rischio sismico è stata posta particolare attenzione ai seguenti aspetti:

- ricostruzione del Modello geologico-tecnico dell'area;
- individuazione dei litotipi che possono costituire il substrato rigido, accompagnata da una stima approssimativa della profondità ed una stima del contrasto di impedenza sismica atteso;
- individuazione di eventuali discontinuità e morfologie sepolte;
- presenza di faglie e/o strutture tettoniche;
- contatti tra litotipi a caratteristiche fisico-meccaniche significativamente differenti;
- accentuazione della instabilità dei pendii;
- terreni suscettibili a liquefazione e/o addensamento;
- terreni soggetti a cedimenti diffusi e differenziali.

L'elaborazione della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica MOPS (QC.MZS13) è stata realizzata solo sui principali centri abitati, oggetto delle previsioni più significative, così come concordato con l'Ufficio tecnico del Genio Civile della Regione Toscana.

In particolare i centri abitati oggetto degli studi di microzonazione sismica sono stati i seguenti: Certaldo e zone industriali, Fiano, Gorgognano, Marcialla, Sciano. Le suddette aree sono localizzate ed individuate negli elaborati cartografici.

La carta è stata redatta sia in formato cartaceo che vettoriale (GIS), tenendo conto delle indicazioni fornite negli Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica, nelle Specifiche Tecniche Regionali e nel rispetto degli 'Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica' redatti dal DPC (versione 4.1, Ottobre 2017).

Nello specifico la Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) individua e caratterizza:

- Zone stabili suscettibili di amplificazione sismica: zone in cui il moto sismico viene modificato a causa delle caratteristiche litostratigrafiche e/o geomorfologiche del territorio.
- Zone di Attenzione per le instabilità: zone suscettibili di riattivazione dei fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazioni, fagliazioni superficiali).

Come precedentemente esplicitato, nel territorio oggetto di studio non sono presenti zone stabili, in quanto non affiora il substrato rigido.

### *Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali*

All'interno di questa classe sono state raggruppate tutte le zone caratterizzate prevalentemente dalla presenza di depositi marini/continentali fluvio/lacustri e alluvionali, suddivisi in base alle differenze litologico-tecniche prevalenti ed agli spessori, ai fini di un possibile effetto di amplificazione sismica locale.

Per ogni zona è stata redatta una colonna stratigrafica e sono descritte in legenda le litologie prevalenti (Figura 10).

La zona 2001 è la zona di fondovalle caratterizzata da uno strato superficiale di depositi alluvionali con spessore massimo di circa 20-25 m, poggianti su un substrato pliocenico caratterizzato da un'alternanza di depositi coesivi e incoerenti (PLIs e/o FAA).

La zona 2002, posta in corrispondenza della località Fiano nel contesto collinare villafranchiano, è contraddistinta dalla presenza dei depositi villafranchiani sabbioso-ciottolosi, per spessori anche rilevanti, fino a circa 80-150 m, poggianti sui depositi marini pliocenici (PLIs).

La zona 2004, posta in corrispondenza del contesto collinare villafranchiano, in località Marcialla, è contraddistinta dalla presenza dei depositi villafranchiani sabbioso-ciottolosi, per spessori anche rilevanti, fino a circa 80-100 m, poggianti sui depositi marini pliocenici (PLIs/FAA), con una intercalazione di spessore massimo di circa 30-50 m costituita da depositi villafranchiani più argillosi (SCfl), caratteristica che la differenzia dalla zona 2002.

La zona 2003, in località Gorgognano, è caratterizzata dalla presenza di depositi marini pliocenici prevalentemente argilloso limosi, con intercalazioni sabbiose (FAAb e FAA), con la presenza al tetto di depositi pliocenici prevalentemente sabbiosi (PLIs), per uno spessore massimo di circa 20 m.

La zona 2005, posta nel contesto collinare meridionale, presenta una stratigrafia invertita rispetto alla zona 2003, ovvero è caratterizzata da depositi prevalentemente limoso-argillosi (FAA), poggianti su quelli pliocenici sabbiosi (PLIs).

Analogamente, la zona 2007 è caratterizzata da depositi prevalentemente limoso-argillosi (FAA e FAAb), con spessori massimi di circa 30-50 m, poggianti su quelli pliocenici sabbiosi (PLIs).

Nella zona 2006 prevalgono nettamente i depositi marini pliocenici sabbioso-limosi (PLIs), mentre nella zona 2008 quelli argillosi e limoso-argillosi (FAA), poste rispettivamente a sud ed a nord del Torrente Agliena.

### Zone di attenzione per le instabilità

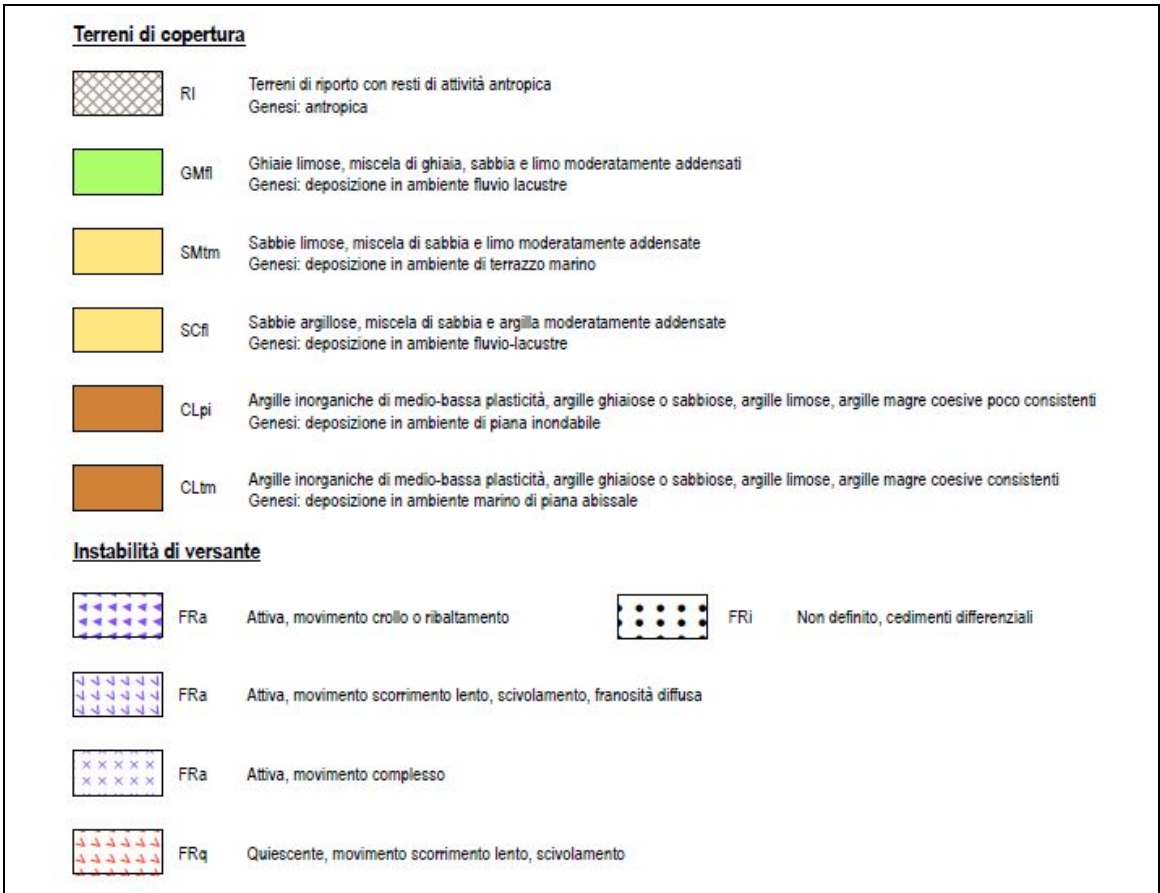
Infine sono state individuate le zone di attenzione per le instabilità ( $Z_{A_{FR}}$ ), corrispondenti a quelle 'instabili', cartografate nella Carta geomorfologica ed in quella Geologico-Tecnica come frane attive  $FR_A$  (raggruppando in queste anche i soliflussi), frane quiescenti  $FR_Q$ .

Sono state inoltre individuate le zone di attenzione per cedimenti differenziali ( $Z_{A_{CD}}$ ), riconducibili essenzialmente ad aree antropiche caratterizzate da presenza di rilevanti orizzonti superficiali di riporto aventi caratteristiche geotecniche scadenti.

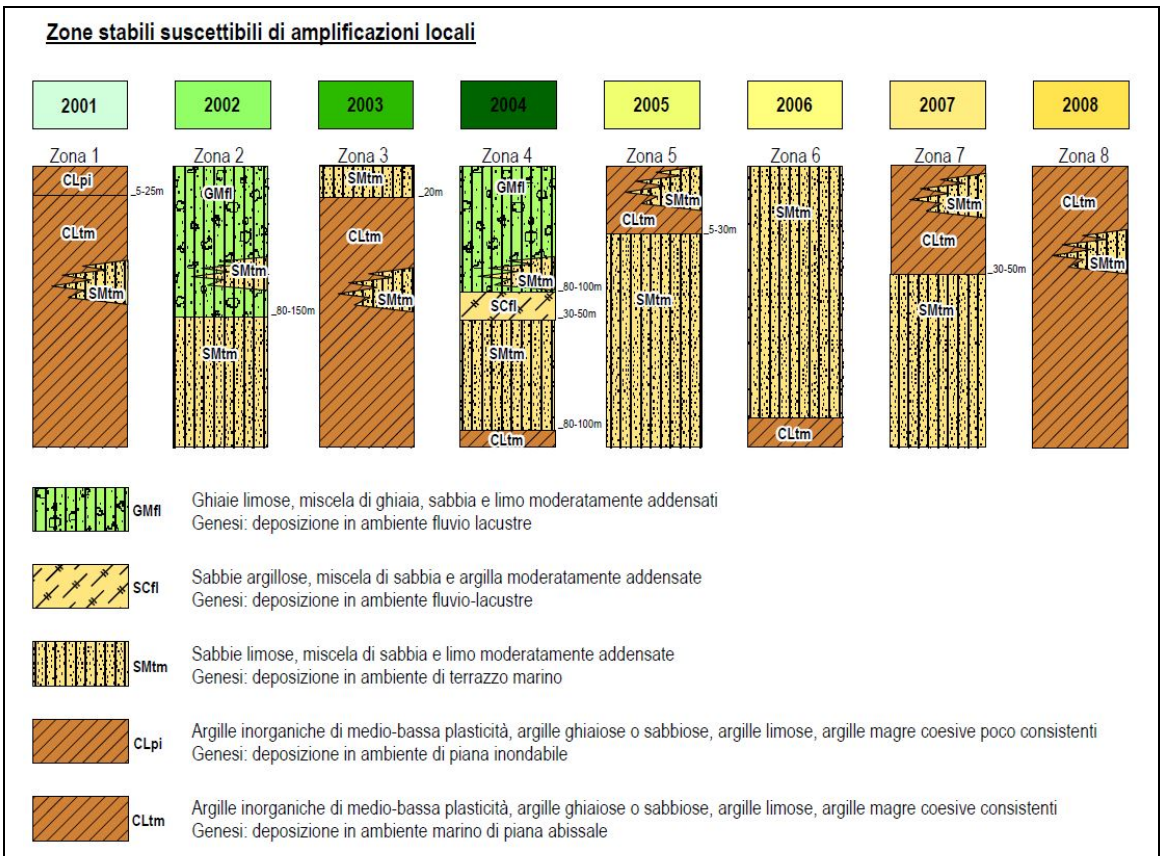
Non sono state individuate zone caratterizzate da depositi soggetti a liquefazione, sulla base delle risultanze di alcune indagini geognostiche costituenti i dati di base, che escludono, viste le caratteristiche granulometriche ed il grado di addensamento dei depositi, la possibilità di liquefazione. Le aree di fondovalle che presentano depositi alluvionali prevalentemente sottofalda, suscettibili di liquefazione, sono state comunque rianalizzate stimandone il potenziale di liquefazione mediante metodi semplificati che utilizzano prove penetrometriche statiche, in particolare il metodo di Robertson e Wride (1998), basato sulla determinazione della resistenza al taglio mobilitata dai valori di resistenza alla punta delle suddette prove. A tal proposito si allega un "elaborato" con la stima del potenziale eseguito per alcune prove penetrometriche eseguite per la microzonazione sismica (CPTU).

Dalle risultanze analitiche non sono emerse problematiche di suscettibilità alla liquefazione (QC.MZS14); tale risultato era già comunque evidenziato dalle stesse prove CPTU, i cui diagrammi risultanti presentano una granulometria, seppur variabile, ma con prevalenza della componente coesiva (*clay*).

Per la definizione delle zone, la loro perimetrazione e gli approfondimenti sugli aspetti di carattere sismico si rimanda alla specifica Relazione tecnica illustrativa (QC.MZS14) di supporto allo studio di Microzonazione Sismica (MS).



Legenda Carta geologico-tecnica.



Legenda Carta MOPS.

## VALUTAZIONI DI PERICOLOSITÀ

Il territorio comunale è stato caratterizzato in funzione dello stato di pericolosità, ai sensi del Regolamento 53/R.

Attraverso la sintesi delle conoscenze, le analisi e gli approfondimenti sono state caratterizzate aree omogenee dal punto di vista delle pericolosità e delle criticità rispetto agli specifici fenomeni che le generano, oltre ad essere integrate e approfondite quelle già individuate nei piani di bacino.

Il territorio comunale è stato quindi caratterizzato in aree omogenee in funzione della pericolosità geologica, idraulica e, per i centri urbani significativi dove è stato effettuato lo studio di microzonazione sismica, della pericolosità sismica locale.

Per gli aspetti di carattere idrologico-idraulico si riportano solo le definizioni e le pericolosità, rimandando per i dettagli allo studio ed alle relazioni specifiche.

### AREE A PERICOLOSITÀ GEOLOGICA

Per la perimetrazione delle aree a pericolosità geologica si è fatto riferimento al Regolamento 53/R, secondo i relativi criteri rispetto alle varie classi di pericolosità, così come di seguito riportati.

Il territorio è stato cartografato in modo tale da limitare al minimo il contatto tra porzioni di territorio comprese in classi di pericolosità geologica non progressive. Di seguito si riportano le situazioni delle varie classi di pericolosità geologica (QC.GEO08).

#### Pericolosità geologica molto elevata (G.4)

Aree in cui sono presenti fenomeni attivi e relative aree di influenza, aree interessate da soliflussi.

Sono inserite in questa classe di pericolosità i corsi d'acqua maggiori con problematiche di erosione e le aree limitrofe.

#### Pericolosità geologica elevata (G.3)

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

#### Pericolosità geologica media (G.2)

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



### Pericolosità geologica bassa (G.1)

Aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfoevolutivi.

Nella Carta delle aree a pericolosità geologica si è tenuto conto delle aree di possibile evoluzione del dissesto, che sono state valutate coerentemente con la tipologia del fenomeno e con le ipotesi cinematiche ad esso connesse.

Le frane presenti nel territorio sono essenzialmente del tipo a cinematica lenta (scorrimenti e soliflussi) e quindi le aree di possibile evoluzione sono limitate alle immediate vicinanze dei movimenti di versante stessi. Le aree di influenza non sono state quindi evidenziate all'interno della Carta geomorfologica.

Per le aree in dissesto, cartografate come frane attive, frane quiescenti e soliflussi, riportate nella Carta Geomorfologica (QC.GEO02), si è tenuto conto delle relative aree di influenza, riferite alle aree di possibile evoluzione del fenomeno, nella redazione della Carta delle aree a Pericolosità Geologica (QC.GEO08), così come concordato con la struttura tecnica della Regione Toscana. Infatti le aree inserite in Pericolosità geologica molto elevata (G.4) individuano, oltre al dissesto stesso, l'area di possibile evoluzione; inoltre le aree limitrofe sono state inserite in Pericolosità geologica elevata (G.3).

Nelle aree a pericolosità geologica molto elevata (G.4) sono inseriti, oltre ai fenomeni gravitativi attivi, anche i soliflussi.

Per quanto riguarda gli elementi lineari associati o meno al dissesto franoso (scarpate d'erosione e corone di frana sia attive che quiescenti) anch'essi, nel contesto della zonazione delle aree a pericolosità geologica, sono stati cartografati associando un buffer definito in funzione dell'altezza degli elementi e delle condizioni geologiche, morfometriche e geomorfologiche del territorio coinvolto.

### **AREE A PERICOLOSITÀ IDRAULICA**

Sono di seguito riportate le definizioni delle pericolosità idraulica di cui al DPGR 53/2011 ed alla successiva LR 41/2018.

### DEFINIZIONE DELLE AREE A PERICOLOSITÀ IDRAULICA DI CUI AL DPGR 53/R DEL 2011

#### Pericolosità idraulica molto elevata (I.4)

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

- a) vi sono notizie storiche di inondazioni;
- b) sono morfologicamente in situazione sfavorevole di norma a quote altimetriche inferiori

rispetto alla quota posta a metri 2 sopra il piede esterno dell'argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda.

#### Pericolosità idraulica elevata (I.3)

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

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

#### Pericolosità idraulica media (I.2)

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

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

#### Pericolosità idraulica bassa (I.1)

Aree collinari o montane prossime ai corsi d'acqua per le quali ricorrono le seguenti condizioni:

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

#### DEFINIZIONE DELLE AREE A PERICOLOSITÀ IDRAULICA DI CUI ALLA LEGGE REGIONALE 41/2018

a) "scenario per alluvioni frequenti": lo scenario di cui all'articolo 6, comma 2, lettera c), del d.lgs. 49/2010, individuato negli atti di pianificazione di bacino e definito dai medesimi atti con riferimento al tempo di ritorno non inferiore a trenta anni;

b) "scenario per alluvioni poco frequenti": lo scenario di cui all'articolo 6, comma 2, lettera b), del d.lgs. 49/2010, individuato negli atti di pianificazione di bacino e definito dai medesimi atti con riferimento al tempo di ritorno non inferiore a duecento anni;

- c) "pericolosità da alluvione": la probabilità di accadimento di un evento alluvionale in un intervallo temporale prefissato;
- d) "aree a pericolosità per alluvioni frequenti": le aree classificate negli atti di pianificazione di bacino in attuazione del d.lgs. 49/2010 come aree a pericolosità per alluvioni frequenti o a pericolosità per alluvioni elevata;
- e) "aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti": le aree classificate negli atti di pianificazione di bacino in attuazione del d.lgs. 49/2010 come aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti o a pericolosità per alluvioni media;
- f) "battente": l'altezza della lama d'acqua in una determinata area associata allo scenario relativo alle alluvioni poco frequenti;
- g) "gestione del rischio di alluvioni": le azioni e le misure volte a ridurre le conseguenze negative, derivanti dalle alluvioni, per la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche;
- h) "magnitudo idraulica": la combinazione del battente e della velocità della corrente in una determinata area, associata allo scenario relativo alle alluvioni poco frequenti:
- h1) "magnitudo idraulica moderata": valori di battente inferiore o uguale a 0,5 metri e velocità inferiore o uguale a 1 metro per secondo (m/s). Nei casi in cui la velocità non sia determinata, battente uguale o inferiore a 0,3 metri;
- h2) "magnitudo idraulica severa": valori di battente inferiore o uguale a 0,5 metri e velocità superiore a 1 metro per secondo (m/s) oppure battente superiore a 0,5 metri e inferiore o uguale a 1 metro e velocità inferiore o uguale a 1 metro per secondo (m/s). Nei casi in cui la velocità non sia determinata, battente superiore a 0,3 metri e inferiore o uguale a 0,5 metri;
- h3) "magnitudo idraulica molto severa": battente superiore a 0,5 metri e inferiore o uguale a 1 metro e velocità superiore a 1 metro per secondo (m/s) oppure battente superiore a 1 metro. Nei casi in cui la velocità non sia determinata battente superiore a 0,5 metri;
- i) "rischio di alluvioni": la combinazione della probabilità di accadimento di un evento alluvionale e delle potenziali conseguenze negative per la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche derivanti da tale evento;
- l) "vulnerabilità": la potenzialità dell'elemento esposto a subire danni per effetto dell'evento alluvionale;
- m) "rischio medio R2", definito dal decreto del Presidente del Consiglio dei ministri del 29 settembre 1998 (Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del d.l. 11 giugno 1998, n. 180), come il rischio per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e delle infrastrutture e la funzionalità delle attività economiche;
- n) "opere di sopraelevazione": opere la cui funzione è quella di ridurre la vulnerabilità degli elementi esposti all'evento alluvionale, conseguendo la classe di rischio medio R2, mediante la realizzazione del piano di calpestio ad una quota superiore al battente con un relativo franco di sicurezza;
- o) "opere idrauliche": opere strutturali sui corsi d'acqua volte a evitare gli allagamenti o

in alternativa a ridurre gli allagamenti conseguendo almeno una classe di magnitudo idraulica moderata;

p) "interventi di difesa locale": interventi di protezione finalizzati a limitare la vulnerabilità del singolo elemento esposto all'evento alluvionale;

#### **AREE A PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE**

Dall'analisi e dalla valutazione integrata di quanto emerge dall'acquisizione delle conoscenze relative agli elementi di tipo geologico, geomorfologico e dalle indagini geotecniche e geofisiche, sono evidenziati il Modello geologico-tecnico dell'area (rappresentato nella Carta geologico-tecnica) e, conseguentemente, le aree ove possono verificarsi effetti locali o di sito (rappresentate nella Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica).

In particolare, la valutazione degli effetti locali o di sito ai fini della riduzione del rischio sismico consente di rappresentare:

- litotipi che possono costituire il substrato rigido, con una stima approssimativa della profondità ed una stima del contrasto di impedenza sismica atteso;
- probabili fenomeni di amplificazione stratigrafica, topografica e per morfologie sepolte;
- presenza di faglie e/o strutture tettoniche;
- contatti tra litotipi a caratteristiche fisico-meccaniche significativamente differenti;
- accentuazione della instabilità dei pendii;
- terreni suscettibili a liquefazione e/o addensamento;
- terreni soggetti a cedimenti diffusi e differenziali.

Tale valutazione viene rappresentata attraverso la realizzazione di uno studio di Microzonazione Sismica di livello 1 secondo i criteri definiti nelle specifiche tecniche di cui all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 3907/2010, che scaturisce nella redazione di una serie di elaborati, in particolare della cartografia MOPS.

La sintesi delle informazioni derivanti dalle cartografie geologiche, geomorfologiche, delle indagini e dalla Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica consente di valutare le condizioni di pericolosità sismica dei centri urbani studiati secondo le seguenti graduazioni di pericolosità.

Si riportano di seguito le situazioni delle varie classi di pericolosità sismica (QC.GEO15).

#### **Pericolosità sismica locale molto elevata (S.4)**

Zone suscettibili di instabilità di versante attiva che pertanto potrebbero subire una accentuazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; terreni suscettibili di liquefazione dinamica in comuni classificati in zona sismica 2.

#### **Pericolosità sismica locale elevata (S.3)**

Zone suscettibili di instabilità di versante quiescente che pertanto potrebbero subire una riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici;

zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti diffusi; terreni suscettibili di liquefazione dinamica (per tutti i comuni tranne quelli classificati in zona sismica 2); zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse; aree interessate da deformazioni legate alla presenza di faglie attive e faglie capaci (faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie); zone stabili suscettibili di amplificazioni locali caratterizzati da un alto contrasto di impedenza sismica atteso tra copertura e substrato rigido entro alcune decine di metri.

#### Pericolosità sismica locale media (S.2)

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

#### Pericolosità sismica locale bassa (S.1)

Zone stabili caratterizzate dalla presenza di litotipi assimilabili al substrato rigido in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata e dove non si ritengono probabili fenomeni di amplificazione o instabilità indotta dalla sollecitazione sismica.

Per le aree in dissesto, cartografate come frane attive, frane quiescenti e soliflussi, riportate nella Carta geomorfologica, si è tenuto conto delle relative aree di influenza, riferite alle aree di possibile evoluzione del fenomeno, nella redazione della Carta delle aree a Pericolosità Sismica (QC.GEO15), così come concordato con la struttura tecnica della Regione Toscana. Infatti, le aree inserite in Pericolosità sismica molto elevata (S.4) individuano, oltre al dissesto stesso, l'area di possibile evoluzione; inoltre le aree limitrofe sono state inserite in Pericolosità sismica elevata (S.3).

Le perimetrazioni relative agli aspetti geomorfologici sono state validate con Decreto n. 92 del 16/12/2019 dell'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino settentrionale, Area pianificazione assetto idrogeologico e frane.

Dalle misure H/V realizzate per lo studio di microzonazione sismica (QC.MZS12 e QC.MZS14) non si evidenziano nel complesso contrasti ed amplificazioni rilevanti.

Alcune eccezioni sono date da alcune indagini ubicate in particolare:

- nel contesto di fondovalle si evidenzia una leggera amplificazione sismica intorno a circa 2/3 Hz, in alcuni casi più accentuata verso i 3/3.5 Hz, corrispondenti a circa 20 m di profondità (T1, T2, T4, T7, T9, T17);
- nel contesto collinare meridionale, in prossimità della piana del Torrente Agliena, che mostrano un picco più significativo a frequenze nell'ordine di circa 0.3 Hz (T18, T19, T20);
- nel contesto collinare villafranchiano, in corrispondenza dell'abitato di Fiano, che evidenziano una certa amplificazione sismica intorno a circa 0.9 Hz ed a 4.8-6.8 Hz (T26,

T29), che potrebbero essere correlabili al passaggio fra livelli conglomeratici più consistenti (per il contrasto superficiale) ed al passaggio a depositi pliocenici più compatti (per il contrasto più profondo);

- nel contesto collinare villafranchiano, in corrispondenza dell'abitato di Marcialla (nella porzione all'interno del confine comunale di Certaldo), emerge chiaramente in tutte le misure (T31, T32, T33, T34) un picco in bassa frequenza (tra 0.7 e 0.9 Hz) attribuibile al passaggio tra i depositi villafranchiani più superficiali ed i depositi pliocenici più profondi, a profondità di circa 100 - 150 metri. I picchi a più alta frequenza osservati nelle misure T32 e T34 sono invece da attribuirsi a contrasti all'interno dei depositi villafranchiani in particolar modo tra depositi meno consistenti superficiali e livelli conglomeratici a profondità inferiori a 10 metri;
- ESAC E1 ed E2, rispettivamente a Fiano e Gorgognano, che raggiungono velocità assimilabili ad un 'bedrock' sismico intorno a profondità variabili da 50 a 150 m.

Tuttavia, in nessuno di questi casi può essere stimata una profondità del substrato litoide neogenico: per quanto riguarda il contrasto di impedenza superficiale (profondità circa 20/30 m) esso, essendo riscontrabile solo nelle indagini sismiche di piana alluvionale, corrisponde al passaggio fra depositi alluvionali e depositi pliocenici; gli altri sono tutti assimilabili a contrasti dovuti a litologie più consistenti all'interno del 'dominio pliocenico'.

Nonostante quanto sopra esposto, ovvero che non siano presenti zone stabili suscettibili di amplificazioni locali caratterizzate da un alto contrasto di impedenza sismica atteso tra copertura e substrato rigido entro alcune decine di metri, le zone elencate ove sono stati riscontrati picchi più significativi sono state classificate in pericolosità sismica elevata - S.3 (zona pianura alluvionale a nord di Certaldo, Fiano, Marcialla), mentre gran parte del territorio ricade in pericolosità sismica media - S.2 (QC.GEO15).

Le aree incluse in pericolosità sismica locale elevata (S.3) sono essenzialmente, oltre alle zone elencate in precedenza e tranne quelle relative ad instabilità di versante, le zone di attenzione per cedimenti differenziali (QC.GEO15), riconducibili ad aree antropiche caratterizzate da presenza di rilevanti orizzonti superficiali di riporto aventi caratteristiche geotecniche scadenti.

Non sono state individuate zone caratterizzate da depositi soggetti a liquefazione, sulla base delle risultanze di alcune indagini geognostiche costituenti i dati di base, che escludono, viste le caratteristiche granulometriche ed il grado di addensamento dei depositi, la possibilità di liquefazione. Le aree di fondovalle che presentano depositi alluvionali prevalentemente sottofalda, suscettibili di liquefazione, sono state comunque rianalizzate stimandone il potenziale di liquefazione mediante metodi semplificati che utilizzano prove penetrometriche statiche, in particolare il metodo di Robertson e Wride (1998), basato sulla determinazione della resistenza al taglio mobilitata dai valori di resistenza alla punta delle suddette prove. A tal proposito si allega un "elaborato" con la stima del potenziale eseguito per alcune prove penetrometriche eseguite per la microzonazione sismica (CPTU).

Dalle risultanze analitiche non sono emerse problematiche di suscettibilità alla liquefazione (QC.MZS14); tale risultato era già comunque evidenziato dalle stesse prove CPTU, i cui

diagrammi risultanti presentano una granulometria, seppur variabile, ma con prevalenza della componente coesiva (*clay*).

Nonostante l'esclusione della possibilità di liquefazione a livello di quadro conoscitivo, per tali aspetti risulta comunque opportuno, a livello di intervento diretto, effettuare adeguate indagini geognostiche come previsto dalla normativa vigente, che accertino la presenza localizzata di tali problematiche in corrispondenza di depositi alluvionali.

Relativamente alle previsioni ricadenti in pericolosità sismica elevata S.3 dovranno essere realizzati adeguati studi di risposta sismica locale, fin dal livello di piano attuativo ove esso presente. Sarà quindi da utilizzare il valore più cautelativo tra quelle così ricavato e le categorie di sottosuolo di cui alle NTC 2018.

## CONDIZIONI DI FATTIBILITÀ

Il Piano Operativo definisce le condizioni per la gestione degli insediamenti esistenti e per le trasformazioni degli assetti insediativi, infrastrutturali ed edilizi, in coerenza con il quadro conoscitivo e con i contenuti definiti nel Piano Strutturale.

La trasformabilità del territorio è strettamente legata alle situazioni di pericolosità e di criticità rispetto agli specifici fenomeni che le generano ed è connessa ai possibili effetti che possono essere indotti dall'attuazione delle previsioni dell'atto di governo del territorio.

Sono definite tre fattibilità:

- fattibilità in relazione agli aspetti geologici
- fattibilità in relazione agli aspetti idraulici
- fattibilità in relazione agli aspetti sismici.

Per ogni area soggetta a previsioni, con esclusione del territorio aperto, è stata redatta una apposita Scheda progetto in cui sono riportate le principali caratteristiche progettuali, le categorie di fattibilità geologica, idraulica e sismica e sono dettate le specifiche prescrizioni, fornendo eventualmente precise indicazioni in merito alle indagini di approfondimento da effettuarsi a livello attuativo ed edilizio e delle eventuali opere necessarie per la mitigazione del rischio.

Per le aree urbane sono definite le condizioni di fattibilità in relazione agli aspetti geologici, idraulici e sismici locali.

Per le zone esterne ai centri abitati, non essendo state oggetto dello studio di Microzonazione Sismica, non è stata redatta la Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS), non sono state riportate informazioni relative agli effetti sismici locali e le relative condizioni di fattibilità in relazione agli aspetti sismici.

Le condizioni di attuazione delle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali previste nel territorio comunale sono state differenziate secondo le categorie di fattibilità riportate di seguito (valide per ognuno degli aspetti geologico, idraulico e sismico).

Le indicazioni di fattibilità devono risultare coerenti con la pianificazione sovraordinata definita dal Piano di bacino, Stralcio "Assetto idrogeologico" e con il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA); in particolare per le Schede progetto si è tenuto conto durante la stesura delle indicazioni di pericolosità dettate dal Piano di bacino, mentre per gli interventi in territorio aperto si dovrà, propedeuticamente, verificarne l'attuabilità in relazione alla definizione delle pericolosità geomorfologiche dettate dal sovraordinato Piano di Bacino, Stralcio "Assetto idrogeologico".

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



**Fattibilità con normali vincoli (F2):** si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali vengono indicate la tipologia di indagini e/o specifiche prescrizioni ai fini della valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia.

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

**Fattibilità limitata (F4):** si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali la cui attuazione è subordinata alla realizzazione di interventi di messa in sicurezza che sono stati individuati e definiti, sulla base di studi e verifiche atti a determinare gli elementi di base utili per la predisposizione della relativa progettazione.

Gli interventi sono stati normati nelle Schede Progetto ove presenti, mentre per tutti gli altri interventi, quelli senza scheda progetto, in territorio aperto o non ancora individuati, si rimanda ai relativi abachi di fattibilità geologica, idraulica e sismica.