



COMUNE DI PISTOIA

SINDACO

Alessandro Tomasi

ASSESSORE ALL'URBANISTICA

Leonardo Cialdi

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Lucia Flosi Cheli

UFFICIO DI PIANO

Stefano Carmannini
Alessandro D'Anniballe
Alessia Rosu

VAS E VINCA

TERRE.IT s.r.l. - Fabrizio Cinquini

STUDI GEOLOGICI

Gaddo Mannori

STUDI AGRONOMICI

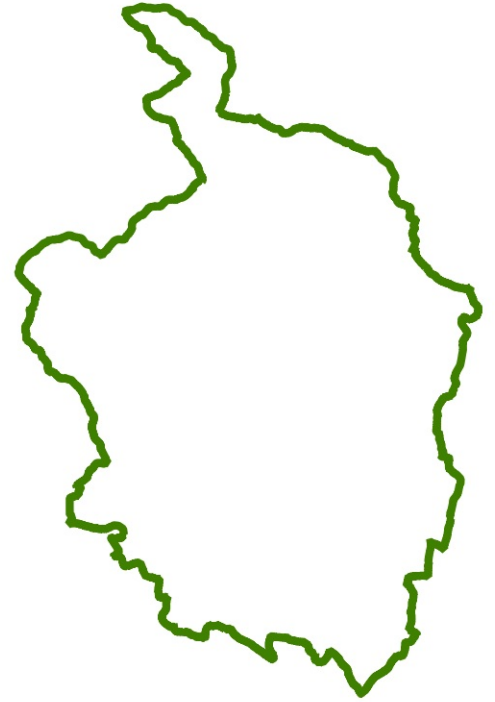
Elisabetta Norci

STUDI FORESTALI

David Pozzi

GARANTE DELL'INFORMAZIONE E

Silvia Tognelli



PISTOIA



PIANO STRUTTURALE

Indagini geologiche, sismiche e idrauliche

Relazione geologica

G.0

ADOZIONE 2024

Indice

1 – SCOPO DELL’INCARICO E GRUPPO DI LAVORO	2
2 – RIFERIMENTO ALLA NORMATIVA	2
3 – ORGANIZZAZIONE GENERALE DELLO STUDIO	2
4 – INQUADRAMENTO GENERALE DEL TERRITORIO	3
5 – CARTA GEOLOGICA (TAV. G.1)	8
6 – CARTA GEOMORFOLOGICA (TAV. G.2)	11
6.1 – Ambito collinare	12
6.1.1 – Aree in dissesto oggetto di approfondimenti	13
6.1.2 – Territorio urbanizzato	24
6.2 – Area di pianura e il fenomeno della subsidenza	25
7 – CARTA IDROGEOLOGICA CON INDICAZIONI DI VULNERABILITÀ (TAV. G.3)	28
7.1 – La permeabilità	28
7.2 – Acquiferi e morfologia della superficie freatica di pianura	32
7.3 – Vulnerabilità degli acquiferi	34
8 – CARTA DELLE INDAGINI (TAV. G.4)	35
9 – MICROZONAZIONE SISMICA	36
9.1 – Carta geologico-tecnica (TAV. G.5)	36
9.2 – Sezioni geologico-tecniche (TAV. G.6)	37
9.3 – Carta delle MOPS (TAV. G.7)	37
9.4 – Carta della Microzonazione Sismica (TAVV. G.8.1 e G.8.2)	39
10 – CARTA DELLA PERICOLOSITÀ GEOLOGICA (TAV. G.9)	39
11 – CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (TAV. G.10)	40
12 – CARTA DELLE AREE PRESIDATE DA SISTEMI ARGINALI (TAV. G.11)	41
13 – GLI STUDI IDROLOGICO IDRAULICI	41
13.1 – Idrologia	42
13.2 – Idraulica	43
13.3 – Gli elaborati cartografici di base (Tavv. I.1-I.3)	45
14 – CARTA DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA (Tav. I.4)	46
Appendice	48

1 – SCOPO DELL'INCARICO E GRUPPO DI LAVORO

Con Determina n. 1432 del 19/07/2021 è stato affidato allo studio Mannori & Associati Geologia Tecnica, l'incarico per la predisposizione delle indagini dirette a verificare la pericolosità del territorio comunale sotto il profilo geologico e sismico ai sensi del D.P.G.R. 30/01/2020 n. 5/R.

Per quanto riguarda la redazione dello studio, il coordinamento generale e le analisi geomorfologiche sono stati curati da Gaddo Mannori; le elaborazioni in ambito sismico sono state seguite da Alessandra Mucci mentre la restituzione informatica è stata a carico di Rosa Nencini.

Gli studi idrologico idraulici sono stati eseguiti dagli ingg. Simone Galardini, Cristiano Cappelli e David Settesoldi incaricati della redazione degli studi dei Comuni di Pistoia, Serravalle P.se, Agliana, Montale e Quarrata (*Aggiornamento delle mappe di pericolosità da alluvione e rischio di alluvioni comprensive di battenti e velocità necessarie per l'applicazione della LR 41/2018, ai sensi dell'art. 4 della legge regionale n°73 del 27/12/2018 per i Comuni di Pistoia, Agliana, Quarrata, Montale e Serravalle Pistoiese*).

2 – RIFERIMENTO ALLA NORMATIVA

Il presente studio fa riferimento al D.P.G.R. 30/01/2020 n. 5/R che detta le regole per la formazione e l'adeguamento degli strumenti urbanistici ai fini della prevenzione dal rischio geologico, idraulico e sismico. In questa occasione si è proceduto inoltre ad una profonda revisione della Carta di Pericolosità da frana allegata al Piano per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Distretto dell'Appennino Settentrionale.

3 – ORGANIZZAZIONE GENERALE DELLO STUDIO

Il lavoro è consistito nell'aggiornamento delle cartografie del quadro conoscitivo del Piano Strutturale previgente. Per quanto riguarda gli elaborati geomorfologici particolare attenzione è stata posta alla mappatura dei fenomeni di dissesto, per la quale si è fatto riferimento a:

- fonti storiche, in particolari dati d'archivio;
- dati interferometrici radar da satellite (SAR – Sentinel 1) relativi al periodo gennaio 2018 – luglio 2021;
- dati LiDAR DTM 1×1 della Regione Toscana ove disponibile, altrimenti DTM 10 × 10;
- immagini ortofoto relative al periodo 1954 -2019 (fonte: Geoscopio – Regione Toscana);
- sopralluoghi mirati alla verifica delle criticità rilevate direttamente in sito e delle reali condizioni di quanto individuato da remoto.

Allo stato attuale è in fase di approvazione il Progetto di Piano – PAI “dissesti geomorfologici”, per cui le forme di dissesto individuate nel presente studio sono state classificate in base all'Allegato 3 “Modalità per le proposte di revisione ed aggiornamento delle mappe del PAI” della Disciplina di Piano che sono già state trasmesse all'Autorità di Distretto per l'aggiornamento del quadro conoscitivo.

In seguito alla revisione delle forme di dissesto è stato inoltre necessario aggiornare le

cartografie allegate agli studi di Microzonazione Sismica, così da mantenere la coerenza con gli elaborati geologici e geomorfologici prodotti durante il presente aggiornamento.

I risultati dello studio sono articolati nei seguenti documenti:

- Doc. G – Relazione Geologica
- Tav. G.1 – Carta geologica, scala 1.10.000;
- Tav. G.2 – Carta geomorfologica, scala 1.10.000;
- Tav. G.3 – Carta idrogeologica con indicazioni di vulnerabilità, scala 1.10.000;
- Tav. G.4 – Carta delle indagini, scala 1.10.000;
- Tav. G.5 – Carta geologico-tecnica, scala 1.10.000;
- Tav. G.6 – Sezioni geologico-tecniche;
- Tav. G.7 – Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica, scala 1.10.000;
- Tav. G8 – Carte della Microzonazione Sismica, scala 1.10.000:
 - Tav. G.8.1 – Carta FA - 0.1-0.5 s;
 - Tav. G.8.2 – Carta FA - 0.5-1.0 s;
- Tav. G.9 – Carta di pericolosità geologica, scala 1.10.000;
- Tav. G.10 – Carta di pericolosità sismica locale, scala 1.10.000;
- Tav. G.11 – Carta delle aree presidiate da sistemi arginali, scala 1.10.000.
- Tav. I.1 – Carta dei battenti idraulici per Tr200anni, scala 1.10.000.
- Tav. I.3 – Carta della velocità della corrente, scala 1.10.000.
- Tav. I.3 – Carta della magnitudo idraulica, scala 1.10.000.
- Tav. I.4 – Carta della pericolosità idraulica, scala 1.10.000.

Le metodologie utilizzate per il rilievo, l'elaborazione e la restituzione cartografica sono illustrate nei capitoli in cui vengono descritte le singole tavole. I rilievi sul terreno sono stati eseguiti in scala 1:10.000/1:5.000 e restituiti utilizzando la cartografia più aggiornata della Regione Toscana.

4 – INQUADRAMENTO GENERALE DEL TERRITORIO

Il territorio comunale di Pistoia è diviso in due parti ben distinte dal punto di vista geomorfologico: la parte nord è occupata da rilievi collinari e montani dell'Appennino Settentrionale, mentre la parte sud, dove si trova l'abitato del capoluogo, è completamente pianeggiante ed occupa la porzione nord-ovest del bacino Pistoia-Prato-Firenze.

Zona collinare e montana

Inizia alla periferia settentrionale della città di Pistoia e si estende verso nord, oltre lo spartiacque appenninico, nell'alta valle del Fiume Reno e nella valle del Torrente Orsigna. Le quote più alte si rilevano nella parte settentrionale del Comune dove si raggiungono i 1700 m s.l.m.

Da un punto di vista morfologico, la fascia collinare e montana è caratterizzata da versanti molto acclivi con pendenze medie generalmente superiori al 35% e fondovali stretti

e lunghi (Figura 1). Sul versante adriatico le vallate principali sono quelle del Fiume Reno e del Torrente Orsigna, mentre sul versante tirrenico sono quelle dei torrenti Ombrone, Brana e Bure. L'impressione evidente è quella di un ambiente in forte erosione con vallate ben lontane dal raggiungimento di un profilo d'equilibrio stabile.

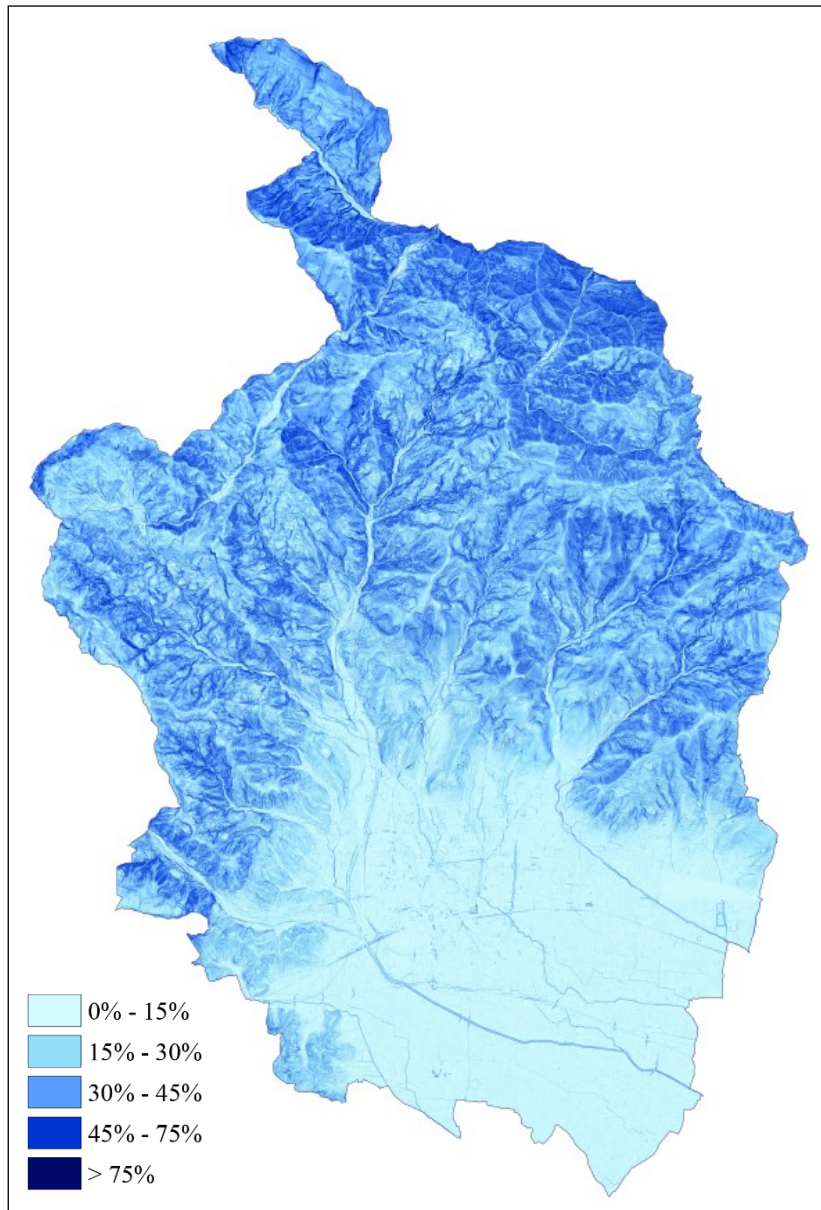


Figura 1
Pendenza del territorio comunale di Pistoia

Dal punto di vista litologico i rilievi appenninici del Comune di Pistoia sono caratterizzati principalmente dall'affioramento di torbiditi arenacee come il Macigno e la formazione dell'Acquerino. Unità appartenenti al Dominio Ligure, come la Formazione calcareo marnosa di Monte Morello e la successione argillitico-calcareo della Formazione di Sillano si ritrovano lungo il bordo della pianura, in particolare nella zona nord-ovest della città di Pistoia. Affioramenti di formazioni argillitiche e marnose appartenenti al Dominio Toscano, come Argille di Fiumalbo e Marne di Marmoreto si estendono da Le Piastre fino a

Cassarese e Case Marconi. Le coperture detritiche presenti sono generalmente sottili, ad esclusione di aree come Cireglio, Sammommè e Le Grazie dove antichi terrazzi sono coperti da depositi di versante di consistente spessore (superiori ai 20 m a Cireglio).

Dal punto di vista strutturale si tratta di un classico segmento della catena appenninica in cui le unità del Dominio Toscano, costituite dall'Unità di Monte Cervarola e dalla Falda Toscana, risultano sovrascorse, con vergenza nord orientale, dall'unità di Monte Morello appartenente al Dominio Ligure. I contatti tra le varie unità sono prevalentemente sovrascorrimenti a basso angolo e subordinatamente faglie dirette, a causa della tettonica fragile tardiva.

Zona di pianura

La parte meridionale del territorio comunale è completamente pianeggiante e fa parte della più estesa pianura Pistoia-Firenze; si tratta di un 'bacino intermontano' caratteristico della Toscana centro settentrionale, come il Mugello, il Casentino ed il Valdarno. Rispetto agli altri bacini toscani, quello di Pistoia-Firenze è l'unico in cui i corsi d'acqua non risultano incassati ed in erosione, ma al contrario sono protetti da importanti opere arginali e con marcate pensilità rispetto alla pianura. Le cause di questa specificità sono da ricercarsi nella difficoltà di drenaggio in uscita dalla pianura dovuta al passaggio obbligato delle acque dell'intera pianura attraversano presso la 'stretta della Gonfolina', vicino a Signa (Figura 2). Si tratta di una gola incassata attraverso la dorsale del Montalbano in cui le difficoltà di deflusso vengono indicate perfino nell'etimologia del toponimo (*Golfolina*).



Figura 2
La Stretta della Gonfolina

Questo restringimento della via di uscita delle acque è, quindi, responsabile del sovralluvionamento che interessa tutta la pianura e dell'ambiente lacustre/palustre che ha

interessato quest'area fino al completamento delle imponenti bonifiche idrauliche iniziate in epoca romana.

Tracce di fenomeni erosivi nell'alveo dei corsi d'acqua sono rilevabili solo nella parte alta della pianura, a nord della faglia di bordo bacino, lungo gli attuali corsi dei torrenti Bure e Brana e sono da mettersi in relazione probabilmente proprio alla presenza di questo elemento tettonico.

Dal punto di vista litologico si distinguono i conoidi, su cui sorge la città di Pistoia e la sua periferia, dovuti agli apporti di sedimenti grossolani depositati dal T. Ombrone, dal T. Brana e dal T. Bure. Si tratta di sedimenti assai eterogenei dal punto di vista granulometrico, con ciottoli anche di grosse dimensioni, sempre mescolati a matrice fine comprendente tutti i termini da argilla a sabbia grossolana. L'eterogeneità dei sedimenti limita molto la permeabilità complessiva dei conoidi, tanto che dal punto di vista idrogeologico i corpi dei conoidi hanno produzioni idriche molto basse. Fa eccezione a questa situazione una piccola fascia di territorio a cavallo dell'attuale corso del T. Ombrone a sud della città, nell'area dell'ex-campo di volo, dove per situazioni particolari si sono depositati terreni a granulometria grossolana ed omogenea; quest'area, importante per la sua produzione idrica (alimenta l'acquedotto cittadino per oltre la metà della risorsa necessaria) ha una estensione così limitata da non rivestire particolare importanza sulla struttura generale della pianura. Sulla base dei numerosi dati di sottosuolo, risulta che lo spessore dei depositi di conoide (Figura 3) è ovunque dell'ordine dei 25-30 metri; al di sotto sono presenti i depositi nel campo delle argille e dei limi fino al basamento. Al di fuori dei conoidi, la maggior parte della pianura pistoiese è costituita da sedimenti a granulometria fine di ambiente palustre o comunque di bassa energia con grande prevalenza di argille e limi; lenti di sabbie e talora di ghiaie, sempre però con abbondante matrice fine, sono irregolarmente distribuite a varie profondità. Questi sedimenti che si sono accumulati in bassi battenti di acqua compensando la subsidenza dell'intera pianura, hanno spessori che arrivano fino a 350 metri al limite sud-est del territorio comunale (Figura 4).

Nella figura che segue sono riportati i risultati di un'analisi morfologica speditiva della pianura pistoiese inserita nel più ampio bacino Pistoia-Firenze. L'analisi è stata eseguita selezionando le curve di livello con equidistanza 10 metri dalle carte tecniche regionali; per l'intero bacino risulta evidente il limite tra l'alta pianura, occupata dai conoidi dei principali immissari, e la bassa pianura dove sono presenti i sedimenti prevalentemente argillosi legati a deposizioni di bassa e bassissima energia.

Il substrato che costituisce il fondo bacino è quasi ovunque costituito da argilliti prevalenti con intercalazioni calcaree riferibili alla Formazione di Sillano; solamente in una modesta porzione a nord est della città gli affioramenti delle arenarie dell'Unità Cervarola si estendono al di sotto della pianura.

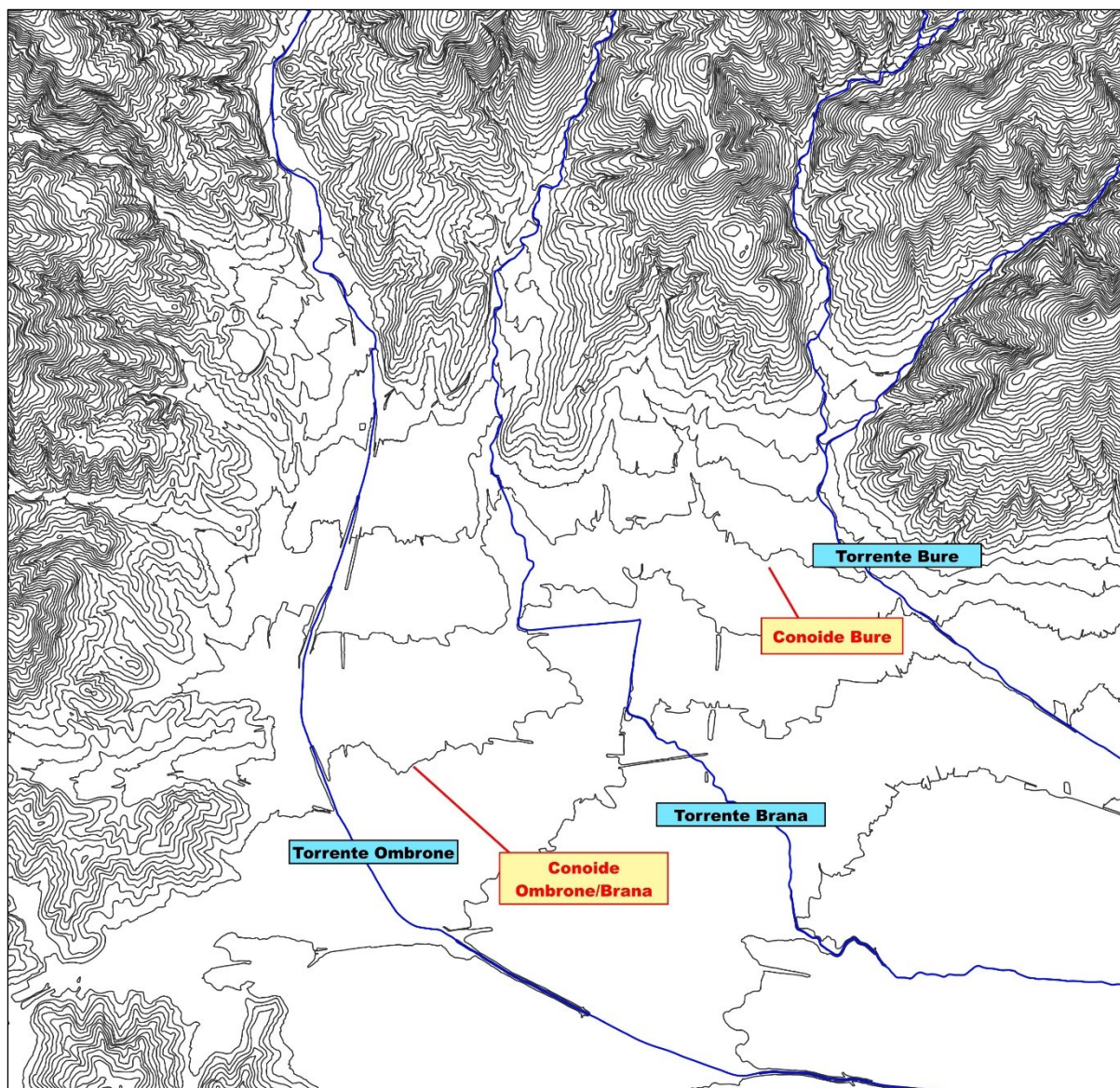


Figura 3
Idrografia superficiale e delimitazione del conoide

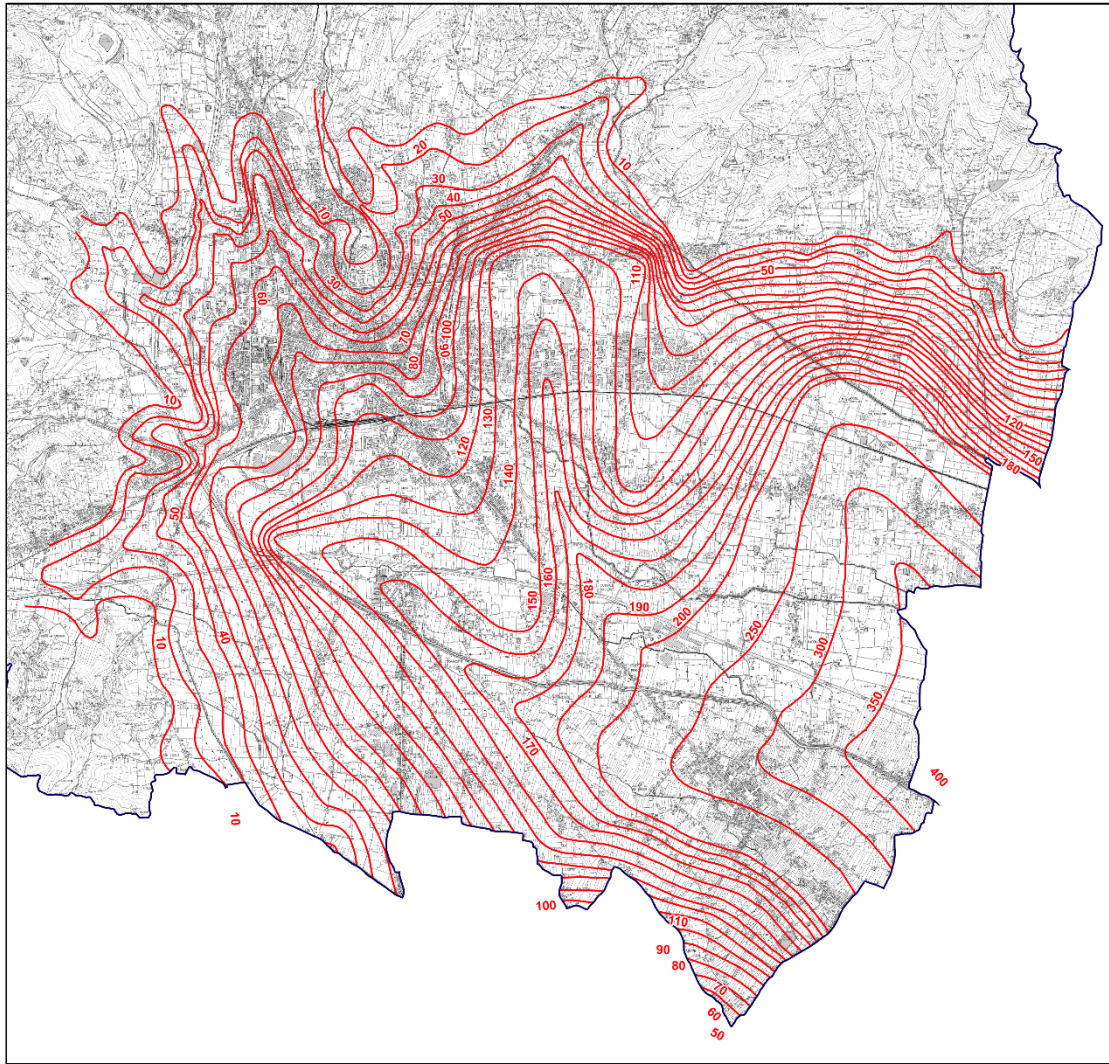


Figura 4

Isopache dei depositi di copertura della zona di pianura (studi MS di II livello)

5 – CARTA GEOLOGICA (TAV. G.1)

La Tavola G.1 è stata elaborata tenendo conto dei dati presenti:

- negli strumenti urbanistici vigenti;
- negli studi di Microzonazione sismica di II livello, redatti dagli scriventi;
- nella Carta Geologica Regionale (Progetto di Cartografia Geologica Nazionale, CARG) della Regione Toscana.

Di seguito si fornisce una breve descrizione delle singole unità litologiche distinte nella carta.

DOMINIO LIGURE

Unità di M. Morello

Formazione di M. Morello (MLL)

Torbiditi calcaree e calcareo-marnose grigie in strati da spessi a medi, a cui si intercalano marne siltose e, raramente, areniti fini e argilliti (Eocene medio).

Formazione di Sillano (SIL)

Successione argillitico-calcareo, costituita da argilliti e argilliti marnose, a cui si alternano strati medi e spessi di calcari marnosi e calcareniti. *Membro calcareo-marnoso* di colore grigio avana, sottilmente stratificato (SIL2) (Cretacico sup. – Paleocene).

DOMINIO TOSCANO

Unità di M. Cervarola

Arenarie di M. Cervarola

Membro del Torrente Dardagna (CEV1): torbiditi silicoclastiche costituite da arenarie quarzoso-feldspatiche grigie in strati da medi a spessi, alternati a strati torbiditici più fini e sottili (Aquitaniiano – Langhiano).

Membro del Torrente Fellicarolo (CEV2): torbiditi silicoclastiche in strati sottili e medi a base siltitica, raramente arenitica fine con intercalazioni di torbiditi arenitico marnose (Aquitaniiano – Langhiano).

Arenarie del M. Falterona

Membro di Montalto (FAL3): arenarie, marne e siltiti con $1/4 < A/P < 2$, ma mediamente vicino all'unità (Aquitaniiano – Burdigaliano).

Formazione di Serpiano

Membro dei Poggi di Fontanaluccia (SPR1): torbiditi siltitico-pelitiche e marnoso-pelitiche in strati sottili e medi a cui si alternano intervalli silicizzati di colore grigio scuro (Aquitaniiano p.p. – Burdigaliano p.p.).

Membro di Castellino (SPR2): arenarie torbiditiche a grana fine o molto fine in strati sottili e medi intercalati a torbiditi siltitico-marnose (Aquitaniiano p.p. – Burdigaliano p.p.).

Formazione di Stagno

Membro arenaceo-pelitico (STA1): torbiditi arenaceo-pelitiche ($A/P > 1$), a cui si intercalano torbiditi siltitico-pelitiche in strati sottili e medi (Aquitaniiano – Burdigaliano).

Formazione del Torrente Carigiola

Torbiditi arenaceo-pelitiche (TCG.1): torbiditi arenaceo-pelitiche e siltitico-pelitiche in strati da sottili a medi. *Litofacies pelitico-arenacea* (TCG.2a): torbiditi siltitico-pelitiche e marnose in strati sottili, talvolta con liste di selce nera (Aquitaniiano p.p.).

Formazione dell'Acquerino

Membro arenaceo-pelitico (AQR1): torbiditi arenaceo-pelitiche in strati da medi a molto spessi, A/P variabile da $\gg 1$ a ≥ 1 (Chattiano – Burdigaliano).

Membro pelitico-arenaceo (AQR2): alternanze pelitico-arenacee in strati gradati prevalentemente da sottili a medi. Rapporto A/P da $\ll a < 1$ (Chattiano – Burdigaliano).

Marne varicolori di Villore (MVV)

Marne e marne argillose variegata (Rupeliano – Aquitaniiano).

Falda Toscana

Marne di Civago (CIV)

Marne o marne siltose ad elevato contenuto di silice con eventuali intercalazioni di selce nera. *Litofacies a breccie di Rio Rumale* (CIVa): breccie argillitico-calcaree ad elementi liguri e sub-liguri (Aquitaniiano p.p.).

Arenarie di Monte Modino (MOD)

Torbiditi silicoclastiche in strati da medi a spessi a base arenitica medio-grossolana e tetto pelitico-marnoso ($A/P > 1$) alternate a sequenze di torbiditi sottili e medie siltitico-pelitiche e siltitico-marnose (Chattiano p.p. – Aquitaniano p.p.).

Marne di Marmoreto (MMA)

Marne e marne calcaree grigio-verdi e marne argilloso-siltose a cui si intercalano strati sottili di areniti e siltiti. (Rupeliano p.p. – Chattiano p.p.).

Olistostroma di Monte Modino (OMM)

Depositi gravitativi in massa costituiti da una litofacies argillitico-calcareo rappresentata da paraconglomerati matrice-sostenuti con clasti di calcilutiti silicee prevalenti, messi in posto come debris flow (Oligocene sup. – Miocene inf.).

Argille di Fiumalbo (FIU)

Argilliti e argilliti marnose policrome da rosso a grigio con intercalazioni di sottili strati siltitico-pelitici. Localmente presenti breccie e arenarie ofiolitiche. *Litofacies a breccie di Riccovolto* (FIUa): breccie argillitico-calcaree a elementi liguri. *Litofacies arenaceo-pelitica* (FIUb): torbiditi arenacei a cemento calcareo in strati da medi a spessi (Ypresiano p.p. – Rupeliano p.p.).

Macigno

Arenarie quarzoso-feldspatiche (torbiditi) grossolane in strati molto spessi e in banchi con intercalazioni sottili di siltiti ed argilliti; talora sono presenti olistostromi di materiale ligure e subligure (Oligocene superiore – Miocene inferiore).

Scaglia Toscana

Membro delle Marne di Rovaggio (STO5): marne di colore grigio con intercalazioni di torbiditi pelitico-marnose grigio-verdi e di torbiditi arenacei massive lenticolari legate al riempimento di canali sottomarini (Cretacico inf. – Paleogene).

Membro di M. Filoncio (STO6): argilliti e argilliti marnose rosate o verdognole alternate a marne grigie ed a straterelli gradati di siltiti scure (Cretacico inf. – Paleogene).

DEPOSITI DI COPERTURA

(Pleistocene – Olocene)

Corpo di frana

Si tratta di accumuli gravitativi con materiale di pezzatura e composizione variabili in funzione del substrato roccioso su cui si sono impostati.

Terreni di riporto (h)

Terreni costituiti da materiale eterogeneo, riferibile a discariche di inerti, accumuli di scarti di cava, terrapieni o rilevati.

Deposito di versante (aa)

Materiali eterogenei di varia pezzatura depositati con processi principalmente legati alla gravità.

Depositi alluvionali terrazzati (bn)

Sedimenti alluvionali costituiti prevalentemente da materiali grossolani quali ciottoli, ghiaia e sabbia immersi in matrice sabbioso-limosa presenti in corrispondenza di terrazzi alluvionali.

Depositi alluvionali attuali (b)

Si tratta di sedimenti alluvionali costituiti sia da sedimenti grossolani quali ciottoli, ghiaia e sabbia, sia da sedimenti fini quali limi e argille presenti nel territorio di pianura ed anche lungo gli alvei fluviali in ambiente collinare. Lo spessore di questi depositi tende ad aumentare notevolmente via via che ci si allontana dal bordo bacino.

Depositi fluvio-glaciali (c1a)

Si tratta di depositi costituiti generalmente da ciottoli arrotondati o sub-arrotondati, ghiaie e sabbie immersi in matrice sabbioso-limosa.

6 – CARTA GEOMORFOLOGICA (TAV. G.2)

Si tratta un aggiornamento della carta geomorfologica allegata al precedente Piano Strutturale contenente una profonda revisione dei fenomeni di dissesto. La mappatura dei corpi franosi è stata realizzata secondo la seguente procedura:

- raccolta da fonti storiche di dati su eventi franosi del passato che hanno interessato il territorio comunale;
- analisi del DTM regionale con passo 1×1 realizzato su base LiDAR;
- analisi delle ortofoto storiche reperibili su Geoscopio (<http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/ortofoto.html>);
- verifica mediante studio dei Permanent Scatterers (PS) (https://geoportale.lamma.rete.toscana.it/difesa_suolo/#/viewer/openlayers/326);
- sopralluoghi in campagna per la valutazione delle reali criticità individuate da remoto.

Per quanto riguarda i principali caratteri geomorfologici cartografati nella Tavola G.2, si procede di seguito ad una disamina delle singole voci presenti in legenda.

Forme, processi e depositi gravitativi di versante

I processi di denudazione ed erosione, dovuti all'azione della gravità, che agiscono sul substrato roccioso affiorante o sui detriti prodotti dalla degradazione meteorica, danno luogo a forme di accumulo di materiali eterogenei e a movimenti di massa:

- *Frane di scorrimento (attive, quiescenti)*: fenomeno franoso in cui il movimento avviene lungo una superficie di rottura di neoformazione o riattivata;
- *Depositi di versante*: materiale eterogeneo di varia pezzatura derivante dall'alterazione della roccia del substrato e costituito da clasti a spigoli vivi, granulometricamente nel campo di sabbia, ghiaia e ciottoli. L'accumulo avviene principalmente per azione della gravità.

Forme, processi e depositi dovuti all'azione delle acque superficiali

I processi di dilavamento e di accumulo sono dovuti all'azione erosiva dell'acqua sul suolo e al ruscellamento superficiale:

- *Area soggetta a franosità diffusa (attiva, quiescente)*: sono aree interessate da deformazioni superficiali derivanti principalmente dall'azione erosiva delle acque di ruscellamento e dei corsi d'acqua. Lo stato di attività può essere attivo o quiescente in

funzione della morfologia dei luoghi, della copertura boschiva e dall'acclività.

- *Depositi alluvionali terrazzati*: si tratta di sedimenti alluvionali costituiti prevalentemente da sedimenti grossolani quali ciottoli, ghiaia e sabbia immersi in matrice sabbioso-limosa presenti in corrispondenza di terrazzi alluvionali.
- *Depositi alluvionali recenti*: si tratta di sedimenti alluvionali costituiti sia da sedimenti grossolani quali ciottoli, ghiaia e sabbia, sia da sedimenti fini, quali limi e argille presenti nel territorio di pianura e lungo gli alvei fluviali in ambiente collinare. In pianura lo spessore di questi depositi tende ad aumentare notevolmente via via che ci si allontana dal bordo bacino.
- *Depositi fluvio-glaciali*: si tratta di depositi eterometrici costituiti da ciottoli talora arrotondati o sub-arrotondati, ghiaie e sabbie immersi in matrice sabbioso-limosa. Affiorano nella zona dei Lagoni, presso l'abitato di Collina.
- *Alvei fluviali particolarmente incisi*: sono alvei con tendenza all'approfondimento per effetto di intensa erosione.

Forme terrazzate

Rientrano in questa categoria i *terrazzi morfologici*, ovvero aree con morfologia pianeggiante o subpianeggiante associate ad accumuli o ad erosioni di natura fluviale.

Forme di origine antropica

Rientrano in questa categoria tutte le forme ed i depositi legati a processi associati all'attività antropica.

- *Terreni di riporto*: si tratta di terreni costituiti da materiale eterogeneo, riferibile a discariche di inerti e accumuli di scarti di cava.

Giacimento potenziale “Corneto-Pitornecca” (Codice: 09047014016001): si tratta dell'unico giacimento individuato dal Piano Regionale Cave all'interno del territorio comunale che non è stato recepito nel presente Piano Strutturale.

6.1 – Ambito collinare

In Figura 5 sono riportati i permanent scatterers (PS) lungo le rotte ascendenti e discendenti, riferibili al periodo gennaio 2018 – marzo 2022, classificati in base alla velocità di spostamento sull'asse verticale.

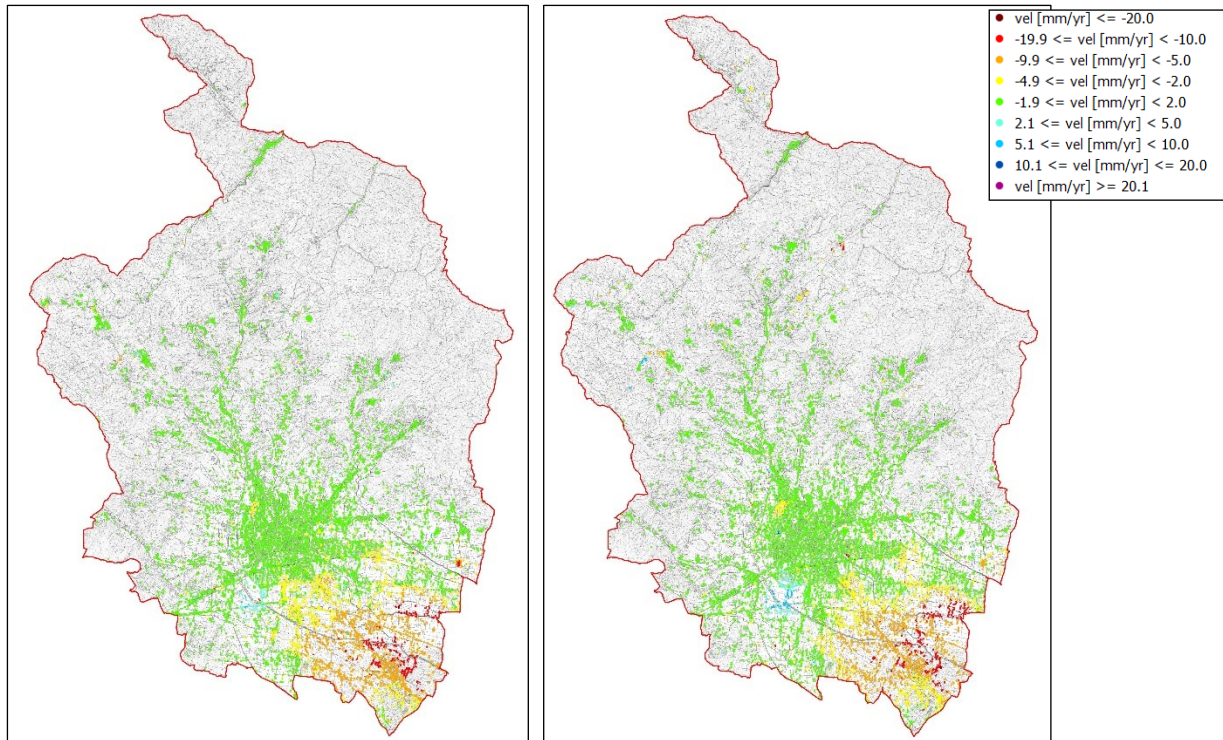


Figura 5
Dati interferometrici riferibili al periodo gennaio 2018 – marzo 2022 (Ascending a sinistra, descending a destra)

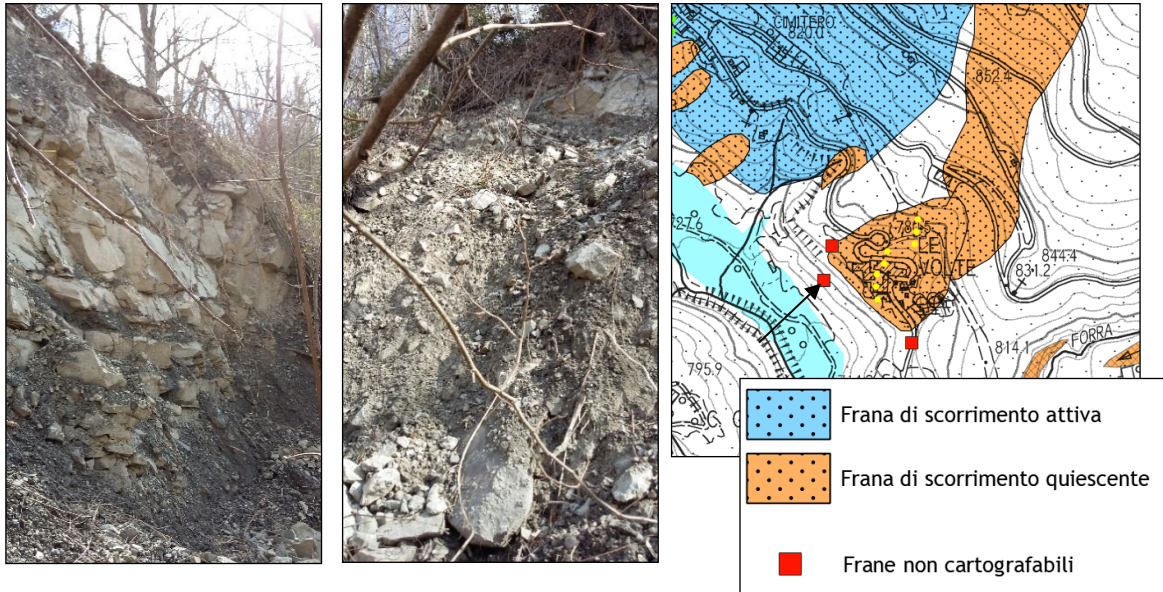
In generale si evidenzia una sostanziale stabilità generale del territorio comunale, che presenta pertanto una bassa propensione al dissesto.

Per quanto riguarda l'ambito collinare, i fenomeni attivi rilevati negli ultimi anni coinvolgono aree di limitata estensione in corrispondenza dei centri abitati di Cireglio, Orsigna e Collina Vecchia, dove i sopralluoghi effettuati hanno messo in luce lesioni su edifici o viabilità. Si riporta di seguito una disamina dei principali eventi franosi avvenuti negli ultimi anni all'interno del territorio comunale ed i risultati delle osservazioni geomorfologiche ed idrogeologiche derivanti dai sopralluoghi effettuati.

6.1.1 – Aree in dissesto oggetto di approfondimenti

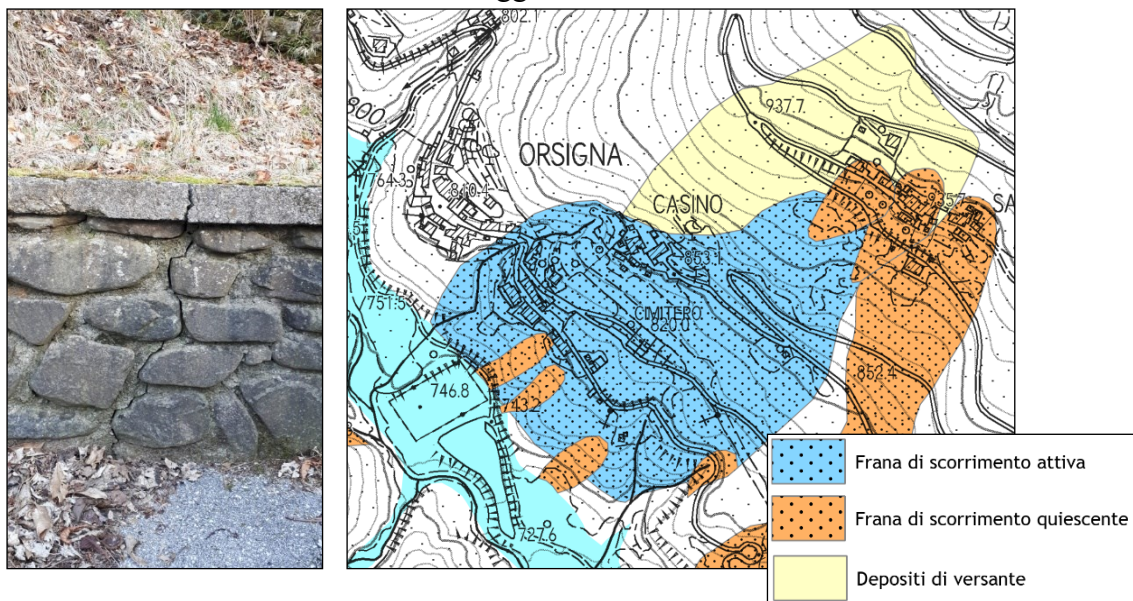
Orsigna

Nel 2016, in località Le Volte, presso Orsigna, è stato condotto uno studio geologico in seguito ad un evento franoso che ha coinvolto la copertura detritica superficiale che si è scollata dal sottostante substrato arenaceo stabile. Come mostrato nelle immagini sottostanti, la massa detritica è costituita da materiali grossolani di origine detritica ed in parte alluvionale. Le indagini geognostiche realizzate mostrano che la copertura presenta uno spessore di circa 5 metri.



Da sinistra a destra si osserva il substrato affiorante in seguito al movimento della massa detritica, la copertura dislocata e l'ubicazione della frana indicata con un quadrato rosso (frana con superficie inferiore a 1000 mq). I punti in colore gialli sono i Permanent scatterers del luogo in orbita discendente riferiti al periodo gennaio 2018-febbraio 2023

Nel 2018, in seguito al manifestarsi di un sistema di lesioni lungo il muro di sostegno della viabilità, è stato condotto uno studio geologico nell'area del cimitero di Orsigna. Le indagini geologiche e geofisiche realizzate lungo il versante hanno messo in evidenza la presenza di una coltre detritica dello spessore di 10÷15 m ed una profondità della falda acquifera di 8÷9 m dal piano di campagna. Allo studio hanno fatto seguito una serie di interventi di consolidamento del versante. In via cautelativa nel presente lavoro il corpo di frana è stato considerato come attivo, con possibilità di futura rivalutazione dello stato di attività in funzione dei risultati del monitoraggio.



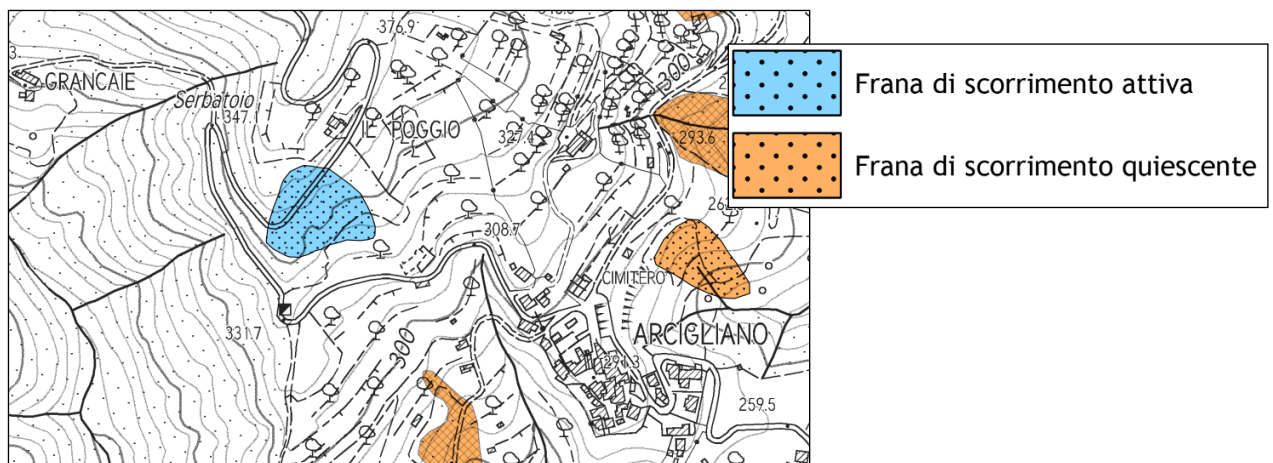
A sinistra la foto delle lesioni sul muro di sostegno; a destra un estratto della carta geomorfologica (Tav. G02) con indicazione delle forme di dissesto del luogo (2018)

Arcigliano

Durante il 2013 si è verificato un evento franoso lungo la Via di Arcigliano popo nord-ovest rispetto al centro abitato. Le indagini geognostiche eseguite sul sito hanno messo in evidenza che la frana ha coinvolto la porzione alterata del substrato arenaceo causando importanti lesioni alla viabilità.



Lesioni del manto stradale – Via di Arcigliano (2013)



Ubicazione della frana attiva lungo Via di Arcigliano (2013)

Cireglio – Castello di Cireglio

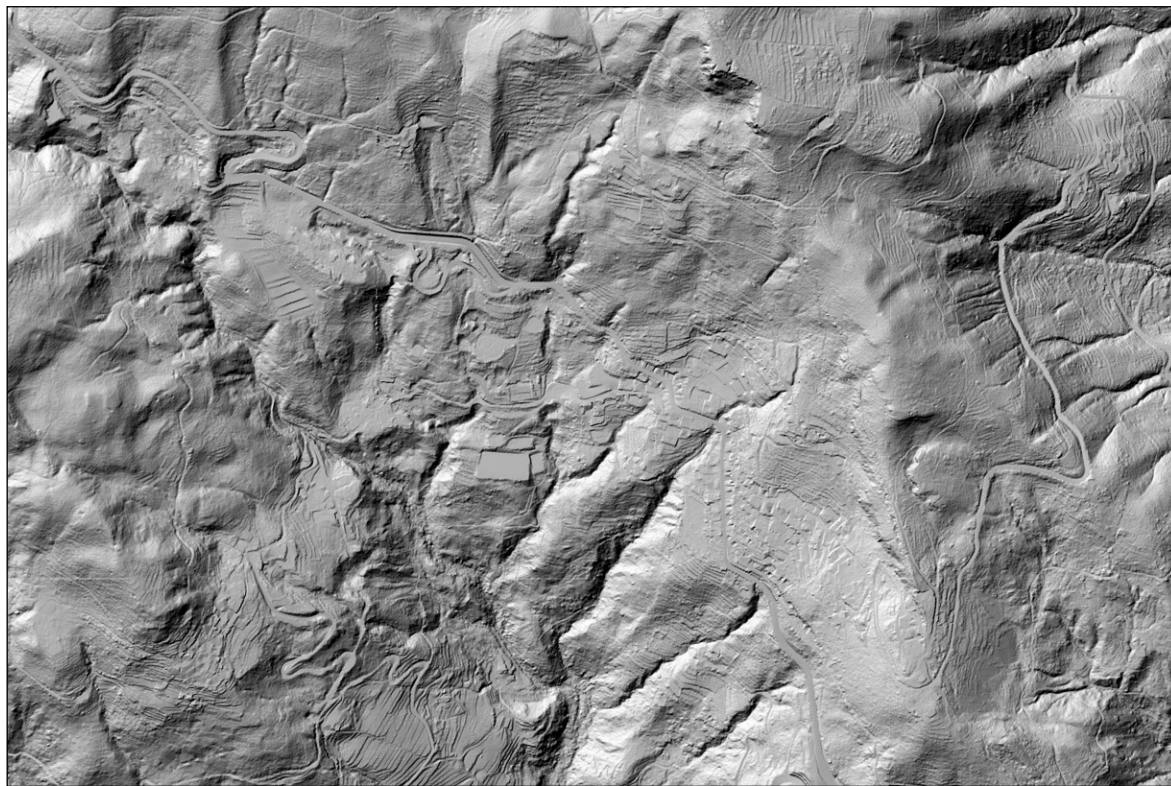
I centri abitati di Cireglio e Castello di Cireglio sono stati oggetto in passato di studi geologici con lo scopo di analizzare la situazione geomorfologica e idrogeologica dell'area.

L'estratto LiDAR 1×1 m, riportato di seguito, mette in evidenza la presenza di diverse forme riconducibili a corpi di frana recenti ed antichi, di terrazzi morfologici e di profonde incisioni da parte dei corsi d'acqua. I versanti presentano acclività comprese tra 15°-30°, ma possono raggiungere valori superiori lungo le incisioni fluviali.

Dal punto di vista geologico, nell'area affiorano arenarie della formazione Macigno; quando presente, la copertura è costituita principalmente da terreni grossolani (granulometricamente riferibile a ciottoli, ghiaia e sabbia).

I dati interferometri (gennaio 2018 – febbraio 2023), reperibili sul geoportale Difesa

del suolo della Regione Toscana, sono coerenti con i movimenti del terreno (arancione in ascending e celeste in descending per i versanti orientati verso est e viceversa per versanti verso ovest).



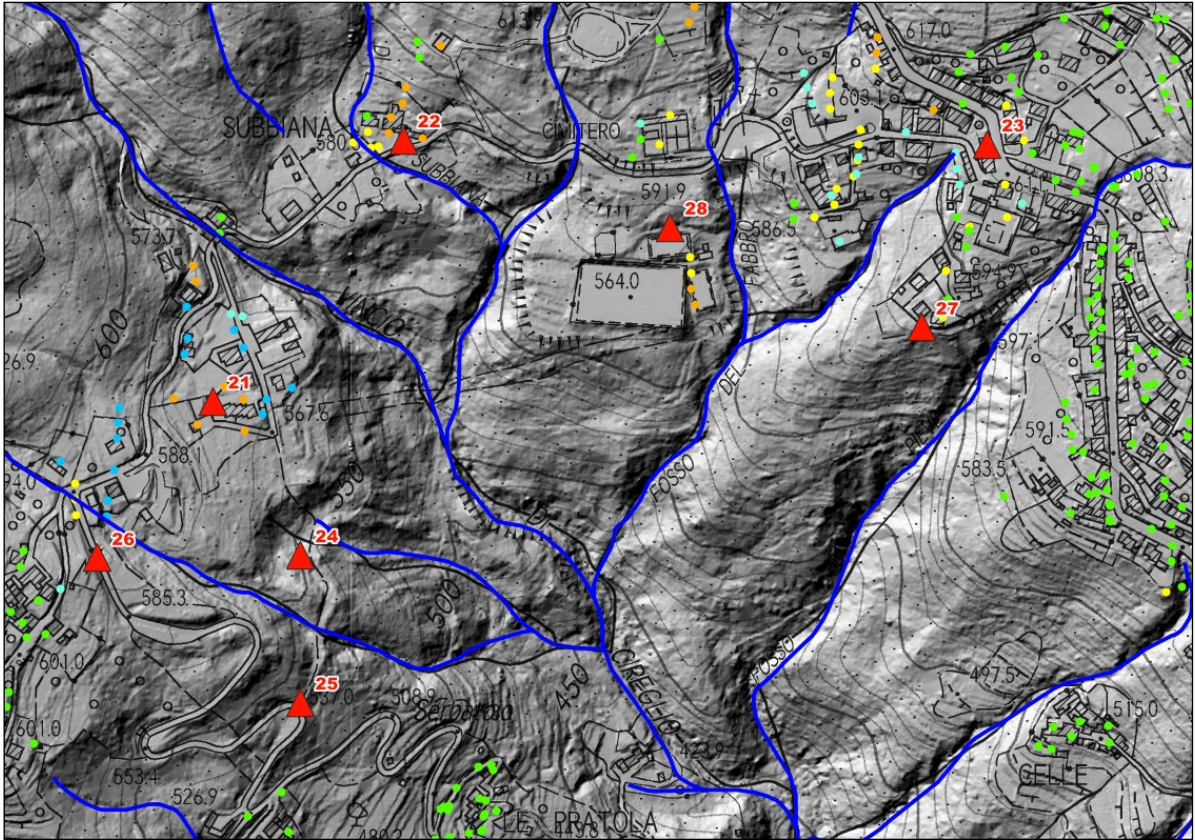
Estratto LiDAR 1×1 m – Cireglio e Castello di Cireglio

Tra il 1996 ed il 2001 sono stati condotti studi sulla situazione idrogeologica del centro abitativo di Cireglio: durante la campagna geognostica sono stati realizzati sondaggi, analisi di laboratorio geotecnico su campioni di terreno, indagini geofisiche ed un censimento sulla situazione strutturale dell'edificato. Allo studio hanno fatto seguito alcuni interventi di consolidamento.

In riferimento all'immagine posta di seguito si riporta una sintesi delle osservazioni condotte durante i sopralluoghi effettuati nelle zone attenzionate da anomalie morfologiche e da criticità nei Permanent Scatterers:

- n.21: assenza di lesioni su edifici e viabilità;
- n.22: assenza di lesioni su edifici e viabilità;
- n.23: presenza di alcune lesioni su edifici, assenti su viabilità;
- n. 24: evento franoso di particolare rilievo (forma osservabile anche da LiDAR) nel periodo '78-'88 che vide l'interruzione di un tratto di strada e la demolizione di un edificio;
- n.25: collegamento verso sud della strada interrotta in riferimento al punto n.24;
- n.26: nuovo tratto di strada realizzato a seguito della frana in riferimento al punto n.24.
- 27: realizzazione di canne drenanti (2000÷2005) con lo scopo di migliorare il drenaggio del versante ed aumentarne di conseguenza la stabilità;

- n.28: presenza di copertura detritica.



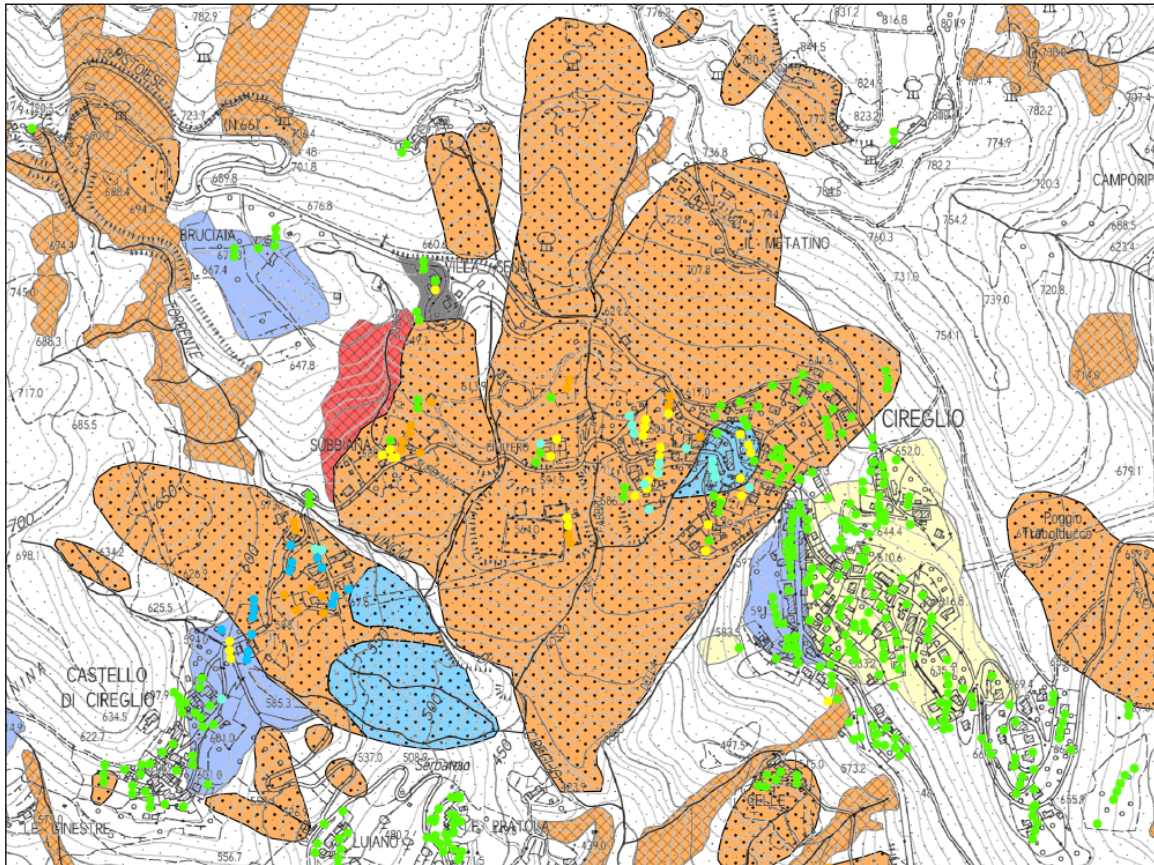
Estratto LiDAR dell'area con indicazione dei punti di attenzione analizzati in campagna per la definizione dello stato geomorfologico ed idrogeologico dei luoghi

In seguito alle osservazioni di campagna, le aree in cui sono state rilevate lesioni sulle infrastrutture sono state incluse all'interno del corpo di frana attivo che pure non risulta evidente su base morfologica. In considerazione dell'ubicazione di tali edifici è ragionevole pensare che localmente i dissesti siano legati all'azione erosiva da parte delle acque di ruscellamento (vedi immagini sottostanti). Inoltre, da dati raccolti sul posto, risulta che durante l'ultimo conflitto mondiale in quella zona vennero accumulati grandi volumi di materiali derivanti dalla demolizione dell'intero paese, completamente raso al suolo nell'ultima fase del conflitto. È quindi ragionevole che questo materiale, accumulato nella testata del compluvio, sia ancora suscettibile di assestamenti, magari a causa del subscorrimento delle acque di infiltrazione.






Sinistra: esempio di lesione strutturale; destra: ubicazione del corpo di frana attivo (celeste) e degli impluvi della zona. Sono inoltre messi in evidenza gli edifici censiti (il poligono rosso indica l'edificio con la lesione mostrata nella foto a sinistra)




In conclusione, la revisione dei fenomeni di dissesto dell'area ha portato alla definizione della situazione geomorfologica indicata nell'immagine seguente.



Forme, processi e depositi gravitativi di versante

-  Frana di scorrimento attiva
-  Frana di scorrimento quiescente
-  Depositi di versante

Forme, processi e depositi dovuti all'azione delle acque superficiali

-  Area soggetta a franosità diffusa attiva
-  Area soggetta a franosità diffusa quiescente
-  Depositi alluvionali terrazzati

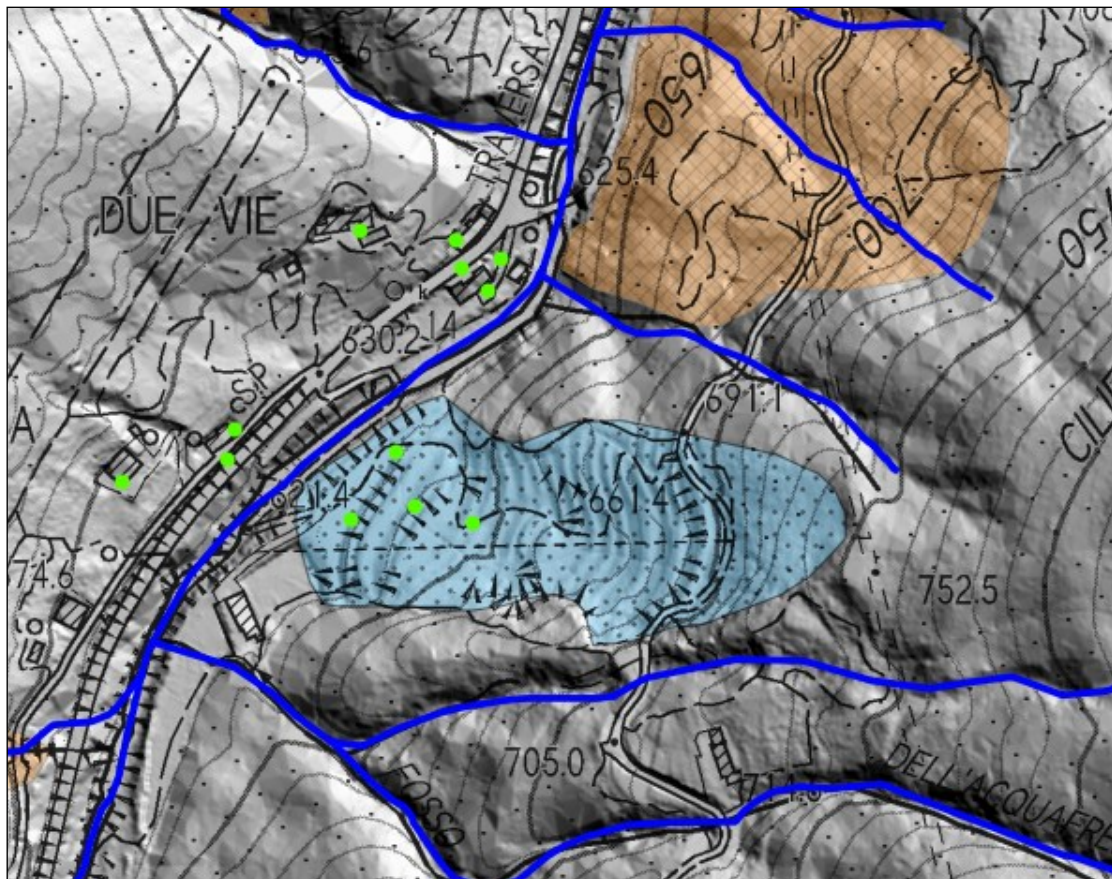
*Estratto della Carta
geomorfologica (Tav. G02)
dell'area Cireglio – Castello di
Cireglio. Sono riportati anche i
Permanent Scatterers in
ascending ed in descending
riferiti al periodo gennaio 2018
– febbraio 2023*

Pracchia

La “frana di Pracchia” si è verificata nel dicembre 2009 lungo un tratto di versante in sinistra idrografica del Fiume Reno, a sud del centro abitativo di Pracchia. Il materiale dislocato si riversò nel Fiume Reno provocando l’evacuazione di alcune abitazioni. Il versante è stato nel tempo oggetto di una serie di interventi di consolidamento, svolti a più riprese. I sopralluoghi condotti hanno messo in evidenza che la parte sommitale della frana è tuttora in condizioni critiche, con crollo di blocchi anche di grandi dimensioni. La frana è stata pertanto classificata come attiva.



Foto sopralluoghi (gennaio 2022): presenza di massi caduti lungo il versante



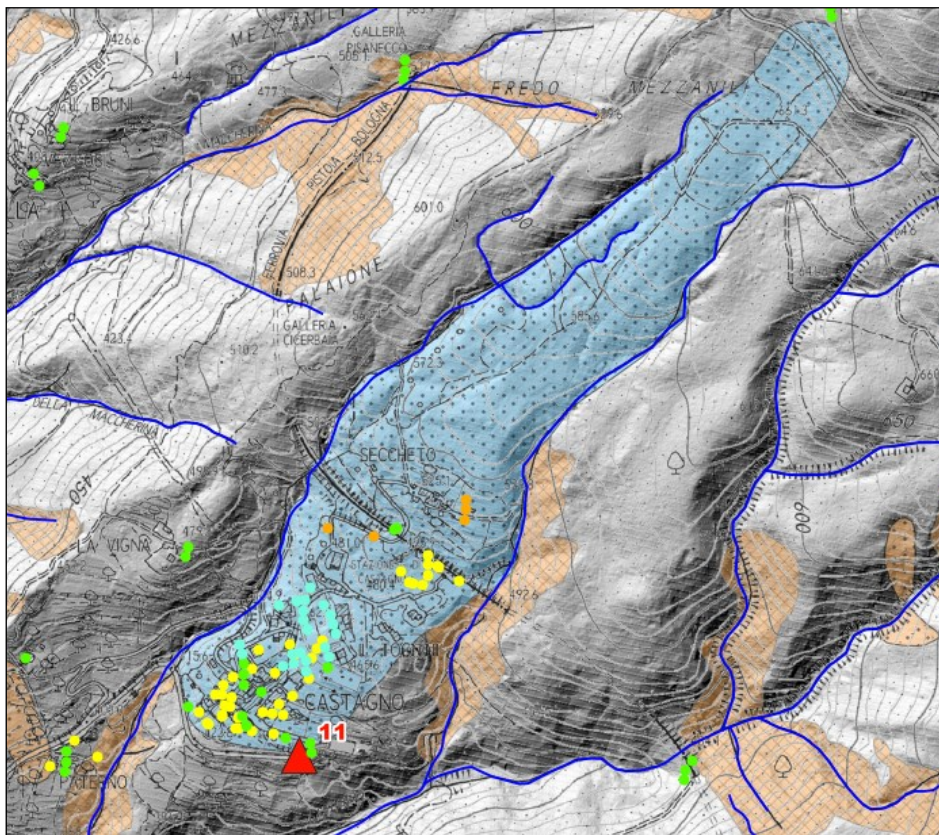
Corpo di frana attiva – Pracchia: i Permanent Scatterers (solo orbita ascendente) non indicano movimento del terreno; visto il numero esiguo di punti e la loro ubicazione (parte basale del corpo di frana), non possono essere considerati discriminanti per la definizione della stabilità del versante.

Castagno

Tra la Strada Statale Porrettana e il centro abitato di Castagno la immagini LiDAR evidenziano un antico corpo di frana che si estende per circa 1.3 Km. Dai sopralluoghi risulta:

- assenza di lesioni su edifici e su viabilità nella zona del centro abitato di Castagno;
- i dati interferometrici indicano movimenti del terreno coerenti con l'orientazione del versante;
- individuazione di affioramenti rocciosi lungo Via del Castagno, la strada di accesso a Castagno da sud (n.11).

Sulla base di queste osservazioni, il corpo di frana è stato classificato come attivo definendo la morfologia della porzione di valle in funzione degli affioramenti osservati in campagna.



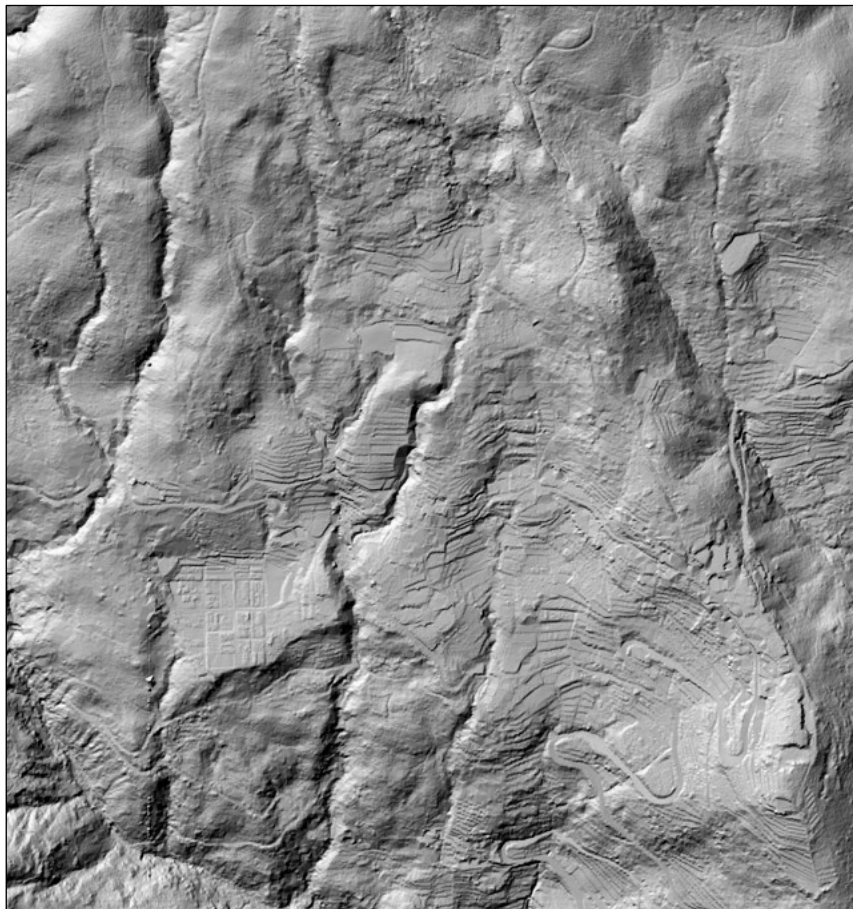
Estratto della Carta geomorfologica con immagine LiDAR del versante tra la Strada statale Porrettana e Castagno. I dati satellitari indicano movimenti del terreno coerenti con l'orientazione del versante (ascending – celeste e descending – giallo/arancione)

Le Grazie – Campiglio delle Grazie

Il centro abitato di Le Grazie ed in particolare l'area di versante dell'“Ex pensione Radio” sono stati oggetto, nei decenni passati, di numerosi studi geomorfologici ed idrogeologici e di interventi di consolidamento mirati alla regimazione delle acque superficiali e sotterranee. Nella zona sono infatti presenti edifici che con importanti lesioni strutturali (vedi immagine che segue).

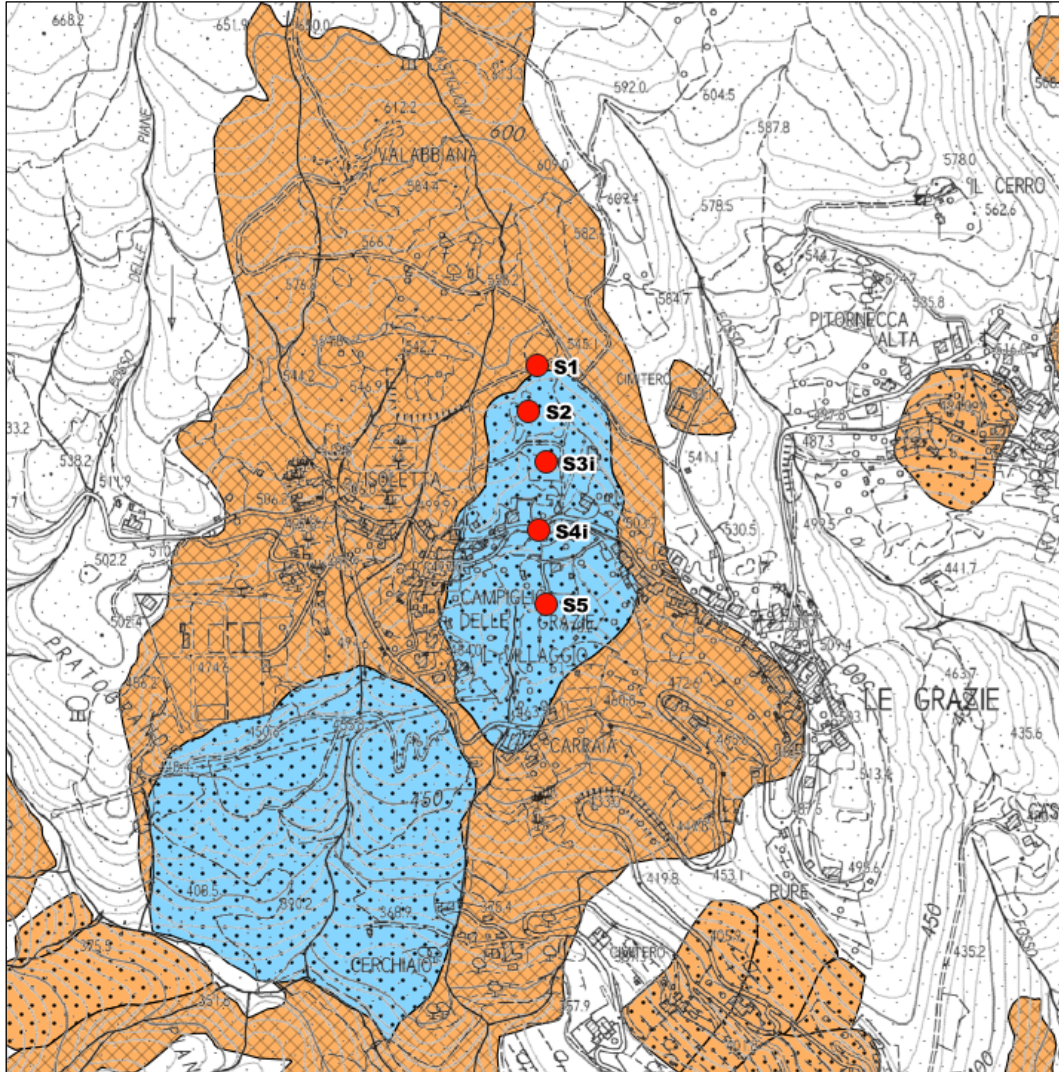


Dal punto di vista geomorfologico la zona presenta caratteristiche simili a quella di Cireglio: i versanti presentano acclività medie del valore di 20°, ma nei tratti a maggior pendenza possono superare i 30°. L'analisi delle immagini LiDAR permette di individuare forme associabili a corpi di frana, terrazzi morfologici ed incisioni fluviali di particolare importanza.



Estratto LiDAR dei centri abitati di Le Grazie – Campiglio delle Grazie

L'ultimo studio geologico relativo al consolidamento della frana, risale al 2020: dalla campagna geognostica realizzata emerge la presenza lungo il versante di una copertura detritica di almeno 15 m di spessore; al di sotto, è presente il substrato roccioso costituito da arenarie tipo Macigno. La profondità della falda varia da monte verso valle da 8.0 m a 3.0 m dal piano campagna.



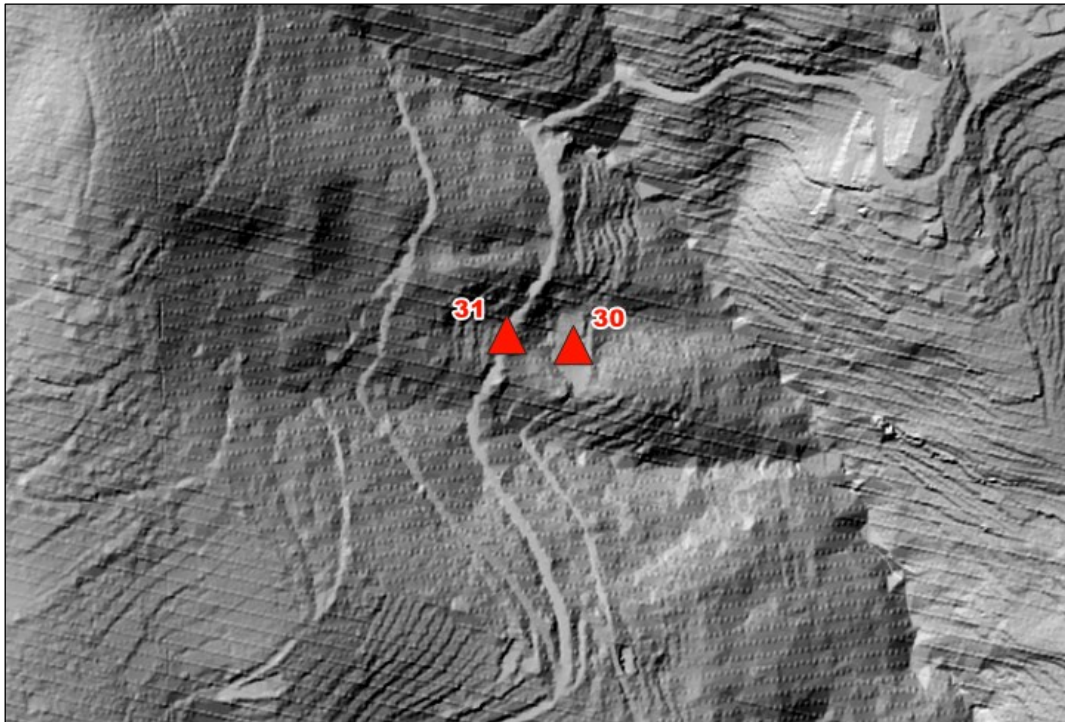
Estratto della carta geomorfologica con immagine LiDAR – località Campiglio delle Grazie: in celeste è riportato il corpo di frana attivo ed in arancione un'area a franosità diffusa quiescente. I punti rossi indicano l'ubicazione dei sondaggi (profondità indagata: 20 m) realizzati durante lo studio geologico del 2020: il substrato roccioso è stato intercettato solo dal sondaggio S2 alla profondità di circa 14 m. I piezometri installati hanno fornito i seguenti valori di soggiacenza della falda: 8.3 m per S1, 5.4 m per S2 e 3.35 m per S5.

Iano

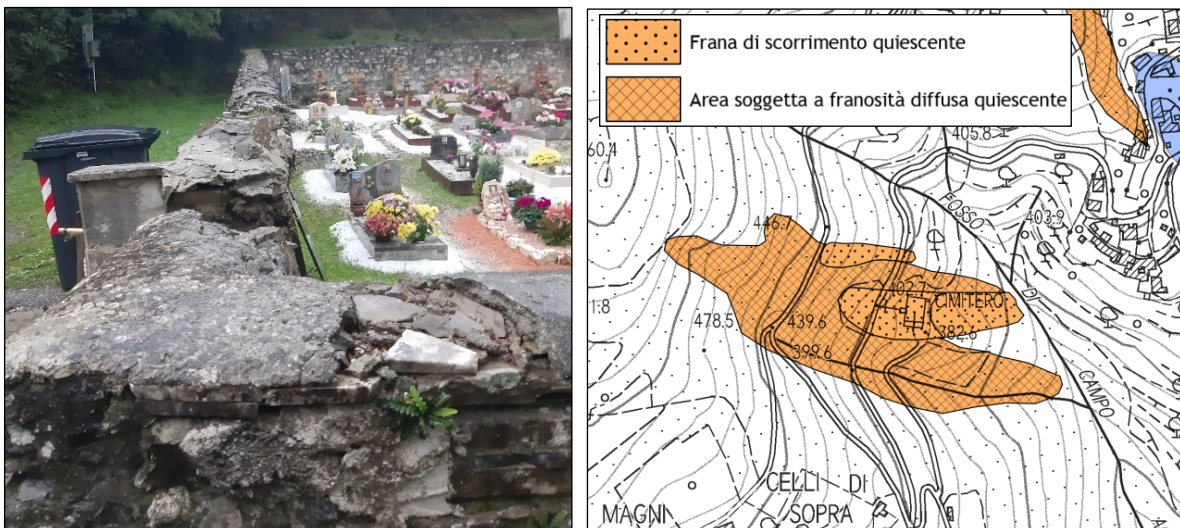
Nell'immagine posta di seguito, è riportato un estratto LiDAR del versante lungo cui è ubicato il cimitero di Iano. Si osserva:

- l'immagine LiDAR mostra evidenze di forme associabili a fenomeni di dissesto;
- assenza di dati interferometrici;
- n.30: presenza di lesioni e cedimenti del muro di confine del cimitero;
- n.31: presenza di lesioni lungo il tratto stradale a monte del cimitero;

- n.31: affioramenti rocciosi lungo il versante a monte della strada (Formazione dell'Acquerino).



Estratto LiDAR – Cimitero di Iano con ubicazione delle osservazioni eseguite durante i sopralluoghi



Sinistra: stato dei luoghi durante il sopralluogo (novembre 2022); destra: estratto della Carta geomorfologica (Tav. G02)

6.1.2 – Territorio urbanizzato

Ai sensi del Regolamento 5/R/2020 è stata realizzata una mappatura di dettaglio dei corpi di frana attivi e quiescenti ricadenti all'interno del territorio urbanizzato con indicazione della corona di frana e dell'area di influenza. Per la mappatura dei fenomeni di dissesto e della relativa area di influenza si è fatto riferimento alle indicazioni fornite dall'Autorità di

Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, riportate all'interno dell'Allegato 3 della Disciplina di Piano. Ciascun poligono cartografato include pertanto la scarpata di frana, il corpo e la zona di accumulo. L'area di influenza è stata definita secondo un procedimento articolato in due fasi:

- a) in una prima fase tramite un criterio geometrico, utilizzando un buffer di diversa larghezza. Come riportato nella tabella a seguire, la dimensione del buffer è stata generalmente definita in funzione dello stato di attività della forma di dissesto, della tipologia del fenomeno e della sua superficie:

Forma di dissesto	Superficie	Larghezza del buffer
Frana di scorrimento attiva/quiescente	<10.000 mq	10 metri
	≥10.000 mq	20 metri
Area a franosità diffusa attiva/quiescente	-	10 metri

Le aree soggette a franosità diffusa includono zone dove i processi erosivi sono intensi e pertanto rappresentano una tipologia di fenomeno a pericolosità elevata ma a bassa intensità: per questo tipo di forma è stato definito un buffer di larghezza fissa (10 m) indipendentemente dalla superficie occupata;

- b) in una seconda fase sono state realizzate modifiche locali in dipendenza della presenza dei seguenti fattori:
- microaree intercluse non mappate;
 - elementi lineari come corsi d'acqua o linee di crinale;
 - aree di influenza in sovrapposizione;
 - punti di controllo stratigrafico e affioramenti del substrato stabile.

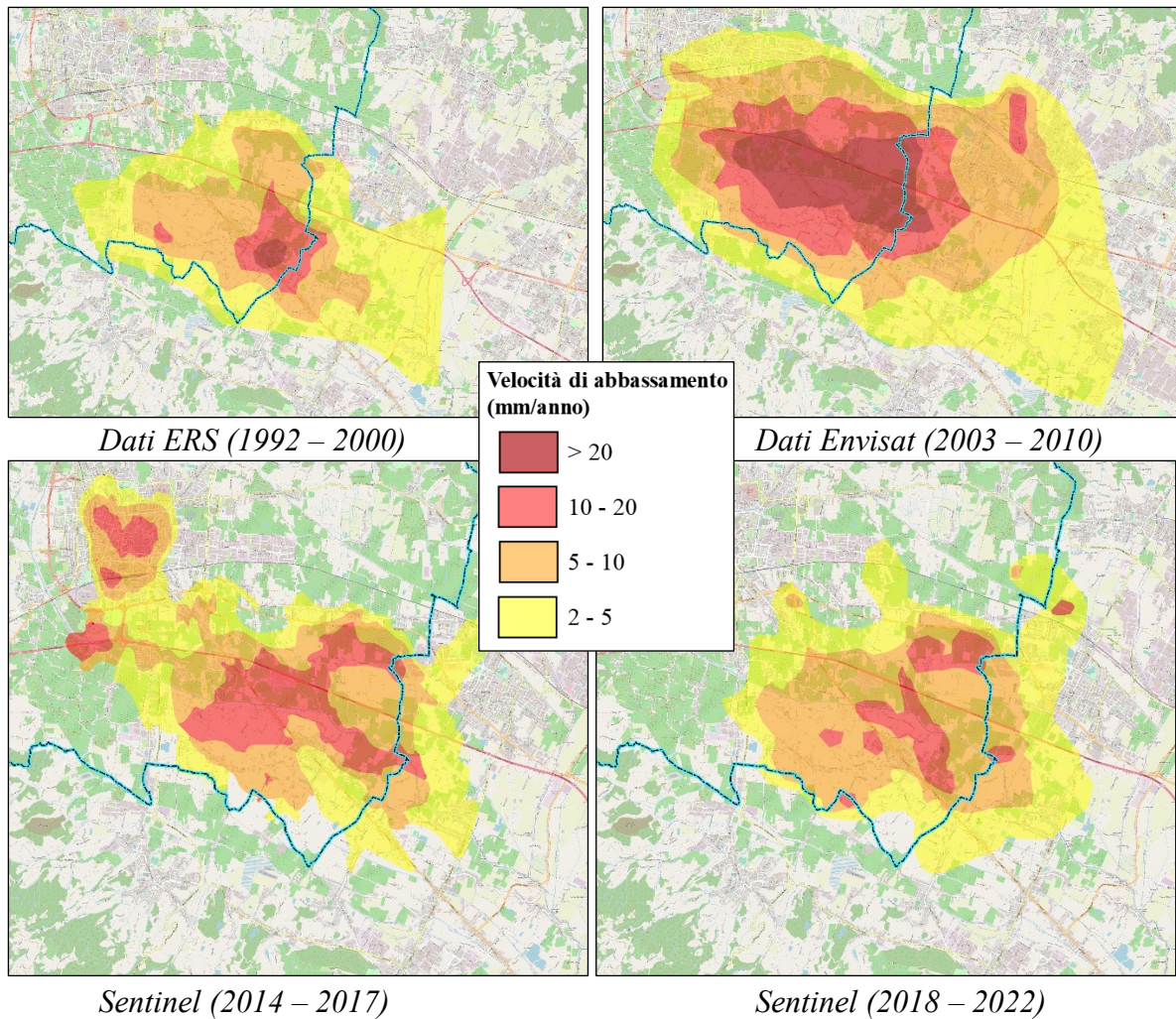
Le cartografie in scala 1:5.000 relative alle forme di dissesto attive e quiescenti che interferiscono con il territorio urbanizzato sono riportate in Appendice.

6.2 – Area di pianura e il fenomeno della subsidenza

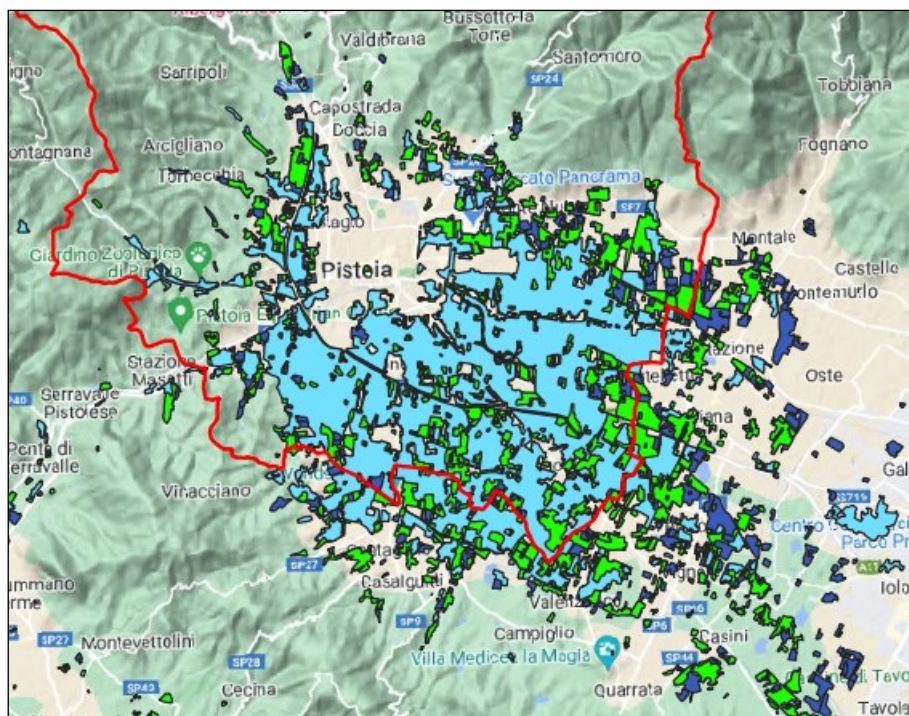
Il tema della subsidenza nella pianura di Pistoia è noto da tempo; i dati di interferometria satellitare segnalano abbassamenti del terreno in particolare nella porzione sud-orientale del Comune, centrati circa sull'abitato di Bottegone. Con i dati a disposizione è stato possibile mappare l'evoluzione del fenomeno analizzando differenti intervalli cronologici in base ai periodi di attività delle diverse costellazioni di satelliti. In particolare:

- dati Ers dal 1992 al 2000;
- dati Envisat dal 2003 al 2010;
- dati Sentinel dal 2014 al 2017;
- dati Sentinel dal 2018 al 2022;

Le immagini riportate di seguito indicano l'estensione delle aree in abbassamento classificate in base alla velocità media annua.



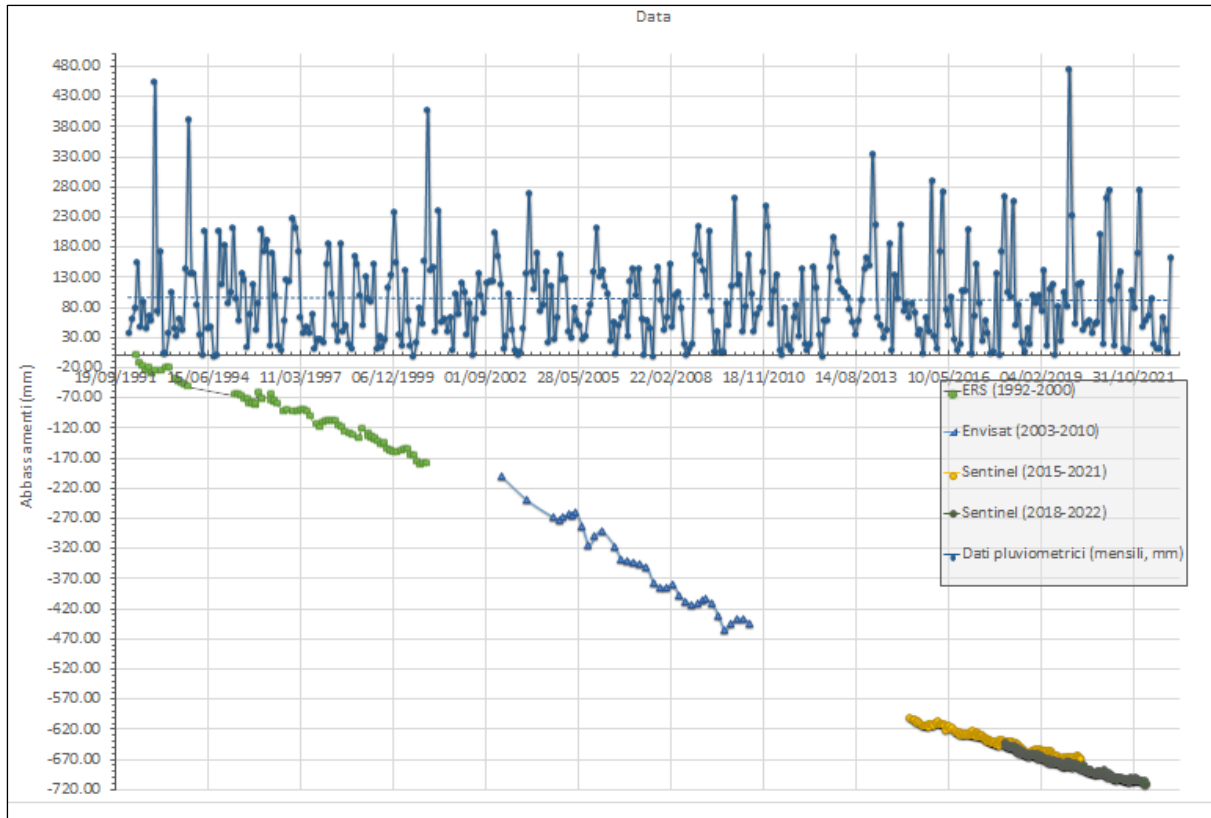
Come si vede, non solo le aree interessate da subsidenza presentano differenti estensioni nei diversi periodi, ma cambia anche la velocità di abbassamento. In bibliografia il fenomeno della subsidenza viene comunemente associato a casi di sovrasfruttamento della falda acquifera; nel nostro caso non ci sono dati idrogeologici che indichino l'insorgere di questa situazione, ma effettivamente la quasi totalità dell'area soggetta a subsidenza coincide con l'estensione delle colture specialistiche associate al vivaismo. È evidente che l'attività vivaistica assorbe grandi quantitativi di acqua, anche se nel dettaglio non ci sono dati attendibili sull'evoluzione dei consumi irrigui negli ultimi trent'anni nell'ambito della zona di studio.



Area interessata da colture specializzate (vivaiismo); in azzurro sono rappresentate le zone a vivaio al 1978, in verde quelle al 2000 ed in blu al 2019

Il rapporto di causa ed effetto tra consumi e subsidenza, inoltre, trova scarsa rispondenza nell'area del centro storico cittadino, soggetto a subsidenza tra il 2014 ed il 2017; in questa zona infatti non sono noti, e non sono nemmeno plausibili, punti di prelievo significativi in questo intervallo temporale.

Allo stesso modo non trova riscontro un'ipotesi, avanzata in fase di elaborazione di questi dati, secondo cui la subsidenza potesse essere influenzata da eventuali differenze nel regime pluviometrico entro il periodo di studio. Infatti, analizzando le piovosità medie annue nei vari intervalli, non sono emerse variazioni significative.



Andamento degli abbassamenti del suolo nei differenti intervalli temporali rispetto alla pluviometria

In sintesi, ad oggi il tema della subsidenza a Pistoia richiede alcuni approfondimenti di indagine per scoprirne le cause; certamente gli effetti sono significativi, tanto è che nella zona di maggior abbassamento, a partire dal 1992, sono stati registrati valori di circa 70 centimetri.

Preme comunque rilevare che nell'area non risultano segnalazioni di lesioni su edifici o infrastrutture; questo è probabilmente da imputarsi al basso gradiente morfologico determinato dai fenomeni di subsidenza.

7 – CARTA IDROGEOLOGICA CON INDICAZIONI DI VULNERABILITÀ (TAV. G.3)

Questa carta contiene:

- indicazioni della vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi presenti nel sottosuolo del territorio studiato;
- punti di captazione ad uso acquedottistico soggetti al vincolo delle aree di rispetto di cui all'art. 94 del D.lgs 152/2006 (*fonte del dato: SIT Publiacqua*); in sintesi si tratta di n. 55 pozzi, n. 169 sorgenti, n. 16 derivazioni da acque superficiali;
- la morfologia della superficie della falda.

7.1 – La permeabilità

La permeabilità delle formazioni rocciose e dei terreni alluvionali costituisce il

parametro che più di altri fornisce indicazioni immediate sulle caratteristiche idrogeologiche dei terreni, e risulta determinante per la valutazione della presenza e, eventualmente, del grado di protezione di un acquifero. Il parametro "permeabilità" è di difficile determinazione: le misure effettuate in laboratorio su campioni di terreno e le prove in sito forniscono dati puntuali che non possono essere estrapolati ad intere formazioni rocciose che affiorano per superfici molto ampie e che hanno caratteristiche litologiche e strutturali rapidamente variabili in spazi brevi. Non potendo quindi contare su dati provenienti da prove dirette, si è dovuto fare ricorso ad un criterio più complesso, basato sulla combinazione, nelle singole formazioni, di una serie di elementi macroscopici quali la porosità, la densità di fratturazione, la densità ed il tipo di carsismo, le caratteristiche strutturali che possono essere valutati direttamente sul terreno e/o ricavati dalla letteratura specifica relativa a zone anche diverse da quella in esame.

Per i sedimenti della pianura, valutazioni importanti sulla permeabilità derivano dalla conoscenza delle modalità di formazione e riempimento del paleoinvaso lacustre. Per la distribuzione dei litotipi affioranti nel territorio si è fatto riferimento alla composizione granulometrica media del terreno che appare dalla Carta geologico-tecnica (Tavola G.05) unitamente alla ricostruzione stratigrafica della zona MOPS in cui ricade (Carta delle MOPS, Tavola G.07).

I criteri suddetti e le valutazioni effettuate, pur verificate alla luce di un'approfondita conoscenza del territorio, hanno permesso una zonazione di permeabilità di carattere soltanto qualitativo, con indicazione di massima delle caratteristiche idrogeologiche delle singole formazioni rocciose.

Le formazioni presenti nell'area studiata sono state classificate a seconda della loro permeabilità media, distinguendo tra permeabilità primaria e permeabilità secondaria. La permeabilità primaria è quella determinata dalla porosità in depositi alluvionali e detritici o comunque in tutti i tipi di sedimenti sciolti; la permeabilità secondaria è invece quella determinata da fratturazione in substrato litoide.

Situazioni particolari e dati puntuali acquisiti durante studi specifici sul territorio, hanno permesso in alcuni casi di derogare da questa schematizzazione, permettendo un dettaglio più raffinato.

A scala regionale la situazione idrogeologica dell'intera pianura fra Pistoia e Firenze deriva direttamente dai processi geologici che hanno dato origine alla pianura alluvionale, formata, come noto, per il riempimento della depressione palustre che occupava all'inizio dell'era quaternaria l'intera zona compresa fra l'Appennino e la dorsale del Montalbano.

L'antico invaso palustre si è colmato per l'apporto solido dei torrenti provenienti essenzialmente dal versante settentrionale della depressione, dove il rapido sollevamento della catena appenninica ha favorito una attività erosiva ancora oggi molto intensa. Ai margini settentrionali della pianura, in corrispondenza dello sbocco dei torrenti principali, si sono così depositati grandi quantità di sedimenti grossolani che hanno formato i conoidi dei torrenti Ombrone, Agna e Bisenzio che costituiscono la caratteristica idrogeologica principale dell'intera pianura. Nella fascia centrale e meridionale della pianura, fossi e torrenti ormai con energia ridotta, e quindi con apporto solido minore, hanno depositato sedimenti a granulometria fine, costituiti in prevalenza da sabbie fini, limi e argille più o meno limose, a permeabilità sempre più bassa via via che si procede verso la bassa pianura in direzione sud e

sud-est.

Di seguito è riportata l'assegnazione alle varie classi di permeabilità delle singole formazioni geologiche distinte nella Carta geologica (Tavola G.01).

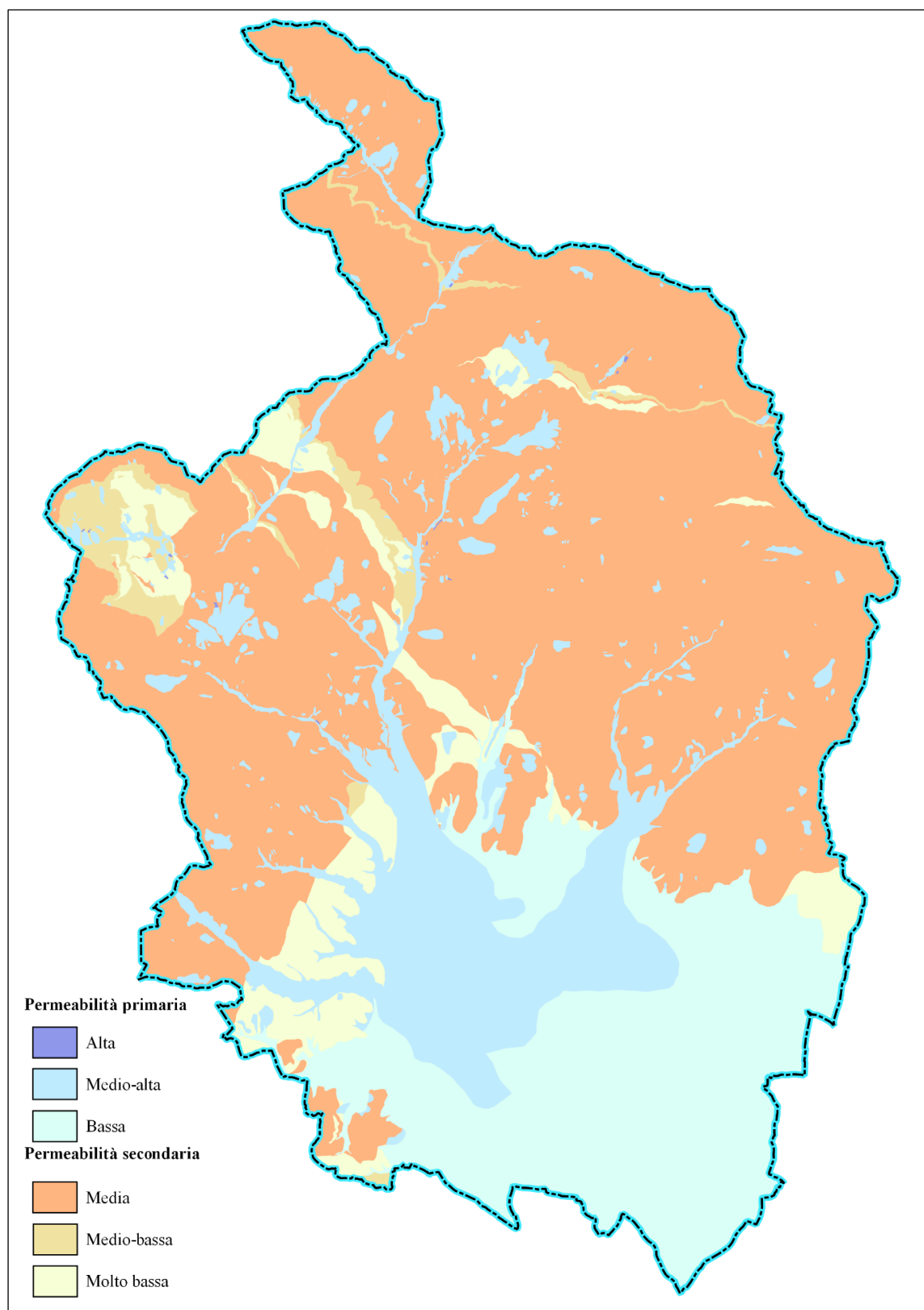
Depositi di copertura	Permeabilità primaria
Corpo di frana	Medio-alta
Terreni di riporto (h)	Alta
Depositi di versante (b/bn)	Medio-alta
Depositi alluvionali recenti/terrazzati a granulometria fine	Bassa (definiti nella Carta geologico-tecnica come <i>MLfl – Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità di deposito fluvio-lacustre</i>)
Depositi alluvionali recenti/terrazzati a granulometria grossolana (b/bn)	Medio-alta (definiti nella Carta geologico-tecnica come: <ul style="list-style-type: none"> • <i>GMfl – Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di deposito fluvio-lacustre;</i> • <i>GPfl – Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia di deposito fluvio-lacustre;</i> • <i>GPTf – Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia di terrazzo fluviale)</i>
Depositi fluvio-glaciali (c1a)	Medio-alta
Substrato roccioso	Permeabilità secondaria
Formazione di M Morello (MLL)	Media
Formazione di Sillano (SIL)	Molto bassa
Formazione di Sillano – membro calcareo marnoso (SIL2)	Media
Arenarie di M. Cervarola (CEV1 e CEV2)	Media
Arenarie del M. Falterona (FAL3)	Media
Formazione di Serpiano (SPR1 e SPR2)	Media
Formazione di Stagno (STA1)	Media
Formazione del Torrente Carigiola (TCG.1 e TCG.2a)	Media
Formazione dell'Acquerino (AQR1 e AQR2)	Media
Marne varicolori di Villore (MVV)	Medio-bassa
Marne di Civago (CIV e CIVa)	Medio-bassa
Arenarie di M. Modino (MOD e OMM)	Media
Macigno (MAC)	Media
Marne di Marmoreto (MMA)	Medio-bassa
Argille di Fiumalbo (FIU, FIUa, FIUb)	Molto bassa/Medio-bassa/Media
Scaglia Toscana (STO5 e STO6)	Molto bassa

Il territorio di pianura è caratterizzato da permeabilità medio-alta nelle aree del conoide dei Torrenti Ombrone, Brana e Bure e da permeabilità bassa nel resto del territorio pianeggiante. Nella maggior parte del territorio collinare affiorano formazioni rocciose caratterizzate da permeabilità secondaria per fratturazione. In sintesi, nella parte collinare/montuosa del territorio comunale si osserva:

- le aree a permeabilità primaria sono rappresentate da limitati affioramenti di depositi fluviali di fondovalle e da quelli di versante;
- non sono presenti aree di affioramenti rocciosi con permeabilità molto alta per fratturazione: le Unità Toscane costituite in prevalenza da arenarie torbiditiche presentano infatti una permeabilità secondaria media, mentre alle argilliti e alle siltiti del Dominio

Ligure e Toscano sono stati assegnati valori di permeabilità per fratturazione molto bassa e bassa. Alle restanti formazioni costituite da marne e marne calcaree è stata invece assegnata una permeabilità medio-bassa.

Di seguito si riporta la suddivisione del territorio del Comune nelle diverse classi di permeabilità:



Classi di permeabilità

7.2 – Acquiferi e morfologia della superficie freatica di pianura

La Tav. G.3 riporta le curve isofreatiche dell'area di pianura elaborate sulla base di

misure del livello statico dei pozzi eseguite negli anni ottanta del secolo scorso; solo nella parte adiacente al fiume Ombrone, da Capostrada all'area del nuovo ospedale, le curve si riferiscono a misure freatiche eseguite in tempi più recenti, nel marzo 2014; si tratta di una rappresentazione della falda in situazione di morbida.

Si ritiene che nonostante sia passato molto tempo dall'elaborazione delle curve isofreatiche riportate, queste abbiano ancora una sostanziale validità; tutte le ricostruzioni isofreatiche eseguite dagli anni ottanta ad oggi per aree di limitata estensione nella pianura di Pistoia, hanno infatti dimostrato che non ci sono state sostanziali differenze nella forma della superficie freatica e nei rapporti fra le acque di sottosuolo e quelle superficiali. In ogni modo, per avere una situazione freatica più aggiornata è prevista una nuova campagna freatimetrica da organizzare nel periodo di morbida della falda che, come noto, si riscontra nella nostra zona nei mesi di marzo-aprile. È evidente che la situazione di morbida rappresenta la situazione più naturale della falda freatica perché molto meno influenzata dagli emungimenti che nel periodo estivo raggiungono livelli molto elevati.

L'elaborazione delle curve isofreatiche si è basata su misure della profondità dei livelli acquiferi eseguite in pozzi censiti secondo un programma di distribuzione uniforme su tutta l'area studiata, privilegiando, quando possibile, i pozzi con rivestimento in muratura o ad anelli e profondità media di m 10. Nei pozzi è stato misurato il livello statico, cioè senza emungimento in atto o terminato da poco tempo; la misura effettuata ha permesso di ricavare la quota assoluta del livello dell'acqua nei pozzi, partendo dalle quote topografiche dei bocca pozzi ricavate dalle carte topografiche in scala 1:2.000. L'analisi della superficie piezometrica fornisce le seguenti indicazioni:

- la tavola d'acqua si trova in tutta l'area in esame a piccola profondità, massimo 4-5 metri, dal piano campagna, ma generalmente non superiore a 2.5-3.0 m;
- il flusso delle acque di sottosuolo segue a grandi linee quello dell'idrografia superficiale, con direzione dai rilievi circostanti verso il centro della pianura;
- il gradiente idraulico è influenzato in maniera evidente dalla topografia; in pratica la pendenza della superficie freatica ricalca con buona approssimazione la pendenza della superficie topografica, nettamente più elevata a nord della ferrovia Firenze-Pistoia, sempre più bassa via via che ci si inoltra verso il centro della pianura, in direzione sud-est.

Nella carta sono evidenti i principali assi di drenaggio della falda: oltre a quelli coincidenti con tratti di corsi d'acqua, quando questi drenano la falda, le isopieze ne evidenziano altri sotterranei: i due laterali al T. Ombrone e quello, orientato nord-ovest sud-est attraverso la città di Pistoia che corrisponde al vecchio corso del T. Brana prima della sua deviazione in occasione della costruzione della terza cerchia muraria della città. L'aspetto più importante che si ricava dall'analisi delle curve isofreatiche riguarda i rapporti tra le acque di sottosuolo e quelle superficiali. A questo proposito si osserva:

- i corsi d'acqua drenano la falda solo nel loro tratto collinare o, nel primo tratto dell'alta pianura, per il resto alimentano la falda freatica. In particolare, l'Ombrone comincia ad alimentare la falda poco a sud di Capostrada; da qui fino a Bottegone l'alveo del torrente è nettamente più elevato della superficie freatica, oltre Bottegone la falda sembra in equilibrio con le acque del torrente, almeno nella situazione di morbida;

- l'acqua che da Capostrada a Pontelungo si infiltra nel sottosuolo dall'alveo del T. Ombrone scorre nell'acquifero superficiale con direzioni di flusso parallele al corso d'acqua e confluisce nell'area a maggior permeabilità dell'ex-campo di volo, nell'area del nuovo ospedale;
- l'acquifero utilizzato dai pozzi dell'acquedotto comunale a tergo dell'ospedale è quindi alimentato da flussi provenienti da nord-nord-ovest, quindi dal T. Ombrone; nel periodo di morbida l'alimentazione da nord, dal conoide di Pistoia risulta del tutto secondaria;
- in riva destra, a sud della confluenza nel T. Ombrone del T. Vincio di Montagnana, l'acquifero utilizzato dai pozzi di San Pantaleo è alimentato esclusivamente dal T. Ombrone e dal T. Vincio stesso;
- le depressioni rilevate nella tavola d'acqua sia in destra che in sinistra Ombrone, nell'area dei campi pozzi, sono ovviamente dovute allo sfruttamento dei pozzi che alimentano l'acquedotto. Come si vede l'effetto del pompaggio non crea, almeno in situazione di morbida, depressioni estese e profonde; crea solo depressioni di modesta entità, particolarmente evidenti solo nell'immediato intorno dei pozzi in attività.

7.3 – Vulnerabilità degli acquiferi

La zonazione di permeabilità permette una valutazione qualitativa della vulnerabilità all'inquinamento delle acque sotterranee. La legenda relativa alla vulnerabilità è divisa in due parti: una per le aree di affioramento dei sedimenti a permeabilità primaria (depositi di copertura) ed una per quelle a permeabilità secondaria (substrato roccioso).

Negli acquiferi a **permeabilità primaria** sono state distinte le seguenti classi di vulnerabilità:

Grado di Vulnerabilità alto: *il terreno sovrastante il primo acquifero ha uno spessore ridotto ed una permeabilità relativamente alta, per cui offre scarsa protezione nei confronti di un eventuale inquinante sparso in superficie. Il tempo d'infiltrazione è inferiore ad un mese, per cui solo gli inquinanti più rapidamente degradabili possono essere adsorbiti e neutralizzati dal terreno non saturo.*

Grado di Vulnerabilità medio alto: *lo spessore e la permeabilità del terreno sovrastante il primo acquifero di sottosuolo comportano tempi di arrivo di un eventuale inquinante sparso in superficie compreso fra un mese ed un anno. Questo tempo è sufficiente alla degradazione degli inquinanti biologici, ma non garantisce la neutralizzazione dei più comuni inquinanti chimici.*

Grado di Vulnerabilità medio basso: *il primo acquifero sotterraneo di interesse pratico è relativamente protetto dal terreno sovrastante. Il tempo di arrivo è superiore ad un anno, quindi solo gli inquinanti meno degradabili possono raggiungere la falda per infiltrazione dalla superficie.*

Negli acquiferi a **permeabilità secondaria** sono state distinte le seguenti classi di vulnerabilità:

Grado di Vulnerabilità medio: *le formazioni geologiche che affiorano in queste aree,*

composte in prevalenza da arenarie, hanno una permeabilità media per fratture. Un inquinamento consistente può raggiungere la rete idrica sotterranea ed inquinare le sorgenti alimentate.

Grado di Vulnerabilità basso: in queste zone le formazioni geologiche, composte prevalentemente da marne ed argilliti, hanno permeabilità molto scarsa e quindi non contengono falde idriche di qualche interesse e non consentono l'infiltrazione di sostanze contaminanti agli acquiferi eventualmente sottostanti. Tuttavia, un inquinante sparso in superficie può essere trasportato facilmente, dalle acque di ruscellamento superficiale, agli eventuali acquiferi delle aree confinanti topograficamente più basse.

Nella tabella che segue sono riassunti i valori del Grado di Vulnerabilità per tutte le formazioni geologiche o per le forme presenti sul territorio studiato:

Depositi di copertura	Grado di Vulnerabilità
Corpo di frana	Alto
Terreni di riporto (h)	Alto
Depositi di versante (aa)	Medio-alto
Depositi alluvionali recenti/terrazzati a granulometria fine (b/bn)	Medio-basso
Depositi alluvionali recenti/terrazzati a granulometria grossolana (b/bn)	Medio-alto
Depositi fluvio-glaciali (c1a)	Medio-alto
Substrato roccioso	Grado di Vulnerabilità
Formazione di M Morello (MLL)	Medio
Formazione di Sillano (SIL)	Basso
Formazione di Sillano – membro calcareo marnoso (SIL2)	Medio
Arenarie di M. Cervarola (CEV1 e CEV2)	Medio
Arenarie del M. Falterona (FAL3)	Medio
Formazione di Serpiano (SPR1 e SPR2)	Medio
Formazione di Stagno (STA1)	Medio
Formazione del Torrente Carigiola (TCG.1 e TCG.2a)	Medio
Formazione dell'Acquerino (AQR1 e AQR2)	Medio
Marne varicolori di Villore (MVV)	Basso
Marne di Civago (CIV e CIVa)	Basso
Arenarie di M. Modino (MOD e OMM)	Medio
Macigno (MAC)	Medio
Marne di Marmoreto (MMA)	Basso
Argille di Fiumalbo (FIU, FIUa, FIUb)	Basso/Medio/Medio
Scaglia Toscana (STO5 e STO6)	Basso

8 – CARTA DELLE INDAGINI (TAV. G.4)

Questa carta contiene la sintesi delle conoscenze dei dati geotecnici e geofisici del sottosuolo del territorio comunale interessato dagli studi di microzonazione sismica di primo e di secondo livello. La simbologia seguita è quella indicata nelle Istruzioni Tecniche e negli

Standard di rappresentazione e archiviazione informativa Versione 4.2. La documentazione delle indagini è consultabile sul Geoportale Web MS-CLE.

	Tipo	n.
Banca dati primo e secondo livello	Sondaggi e pozzi per acqua	158
	Sismiche ESAC/MASW	13
	Sismiche P/SH	36
	Sismiche ReMI	22
	<i>Down Hole</i>	19
	H/V	86

Indagini utilizzate per l'elaborazione della MS di I e II Livello

9 – MICROZONAZIONE SISMICA

La zonazione di pericolosità sismica passa attraverso la realizzazione di uno studio di Microzonazione Sismica di II Livello definito dagli Indirizzi e Criteri per la MS. Il Comune di Pistoia è dotato di studi di MS di II livello finanziati dalla Regione Toscana e redatti dagli scriventi. La revisione dei fenomeni franosi nel territorio collinare, eseguita durante il presente studio, ha coinvolto anche le aree interessate dagli studi MS, per cui è stato necessario procedere ad un aggiornamento in modo da renderli coerenti con il nuovo quadro conoscitivo. Nell'ambito delle aree interessate dagli studi di MS le modifiche sono risultate di modesta entità ed hanno confermato sostanzialmente il precedente modello geologico e geologico tecnico.

Seguendo gli Indirizzi e i Criteri per la Microzonazione Sismica, sono stati quindi aggiornati i seguenti elaborati:

- Carta geologico-tecnica;
- Sezioni geologico-tecniche;
- Carta delle MOPS;
- Carta di Microzonazione Sismica relativa agli intervalli di periodo 0.1-0.5 s e 0.5-1.0 s.

Per maggiori dettagli riguardo a ciascun elaborato si rimanda ai corrispondenti paragrafi delle Relazioni Illustrative allegata agli studi MS di I e II livello.

9.1 – Carta geologico-tecnica (TAV. G.5)

Nella tabella che segue viene riportata una sintesi della metodologia utilizzata mettendo in relazione la legenda della Carta geologica con quella della Carta geologico-tecnica.

Carta geologica	Carta geologico-tecnica
<i>Depositi di copertura</i>	
Frana di scorrimento attiva	3012
Frana di scorrimento quiescente	3022
Terreni di riporto	RIzz – Terreni contenenti resti di attività antropica
Depositi di versante	GMec – Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di

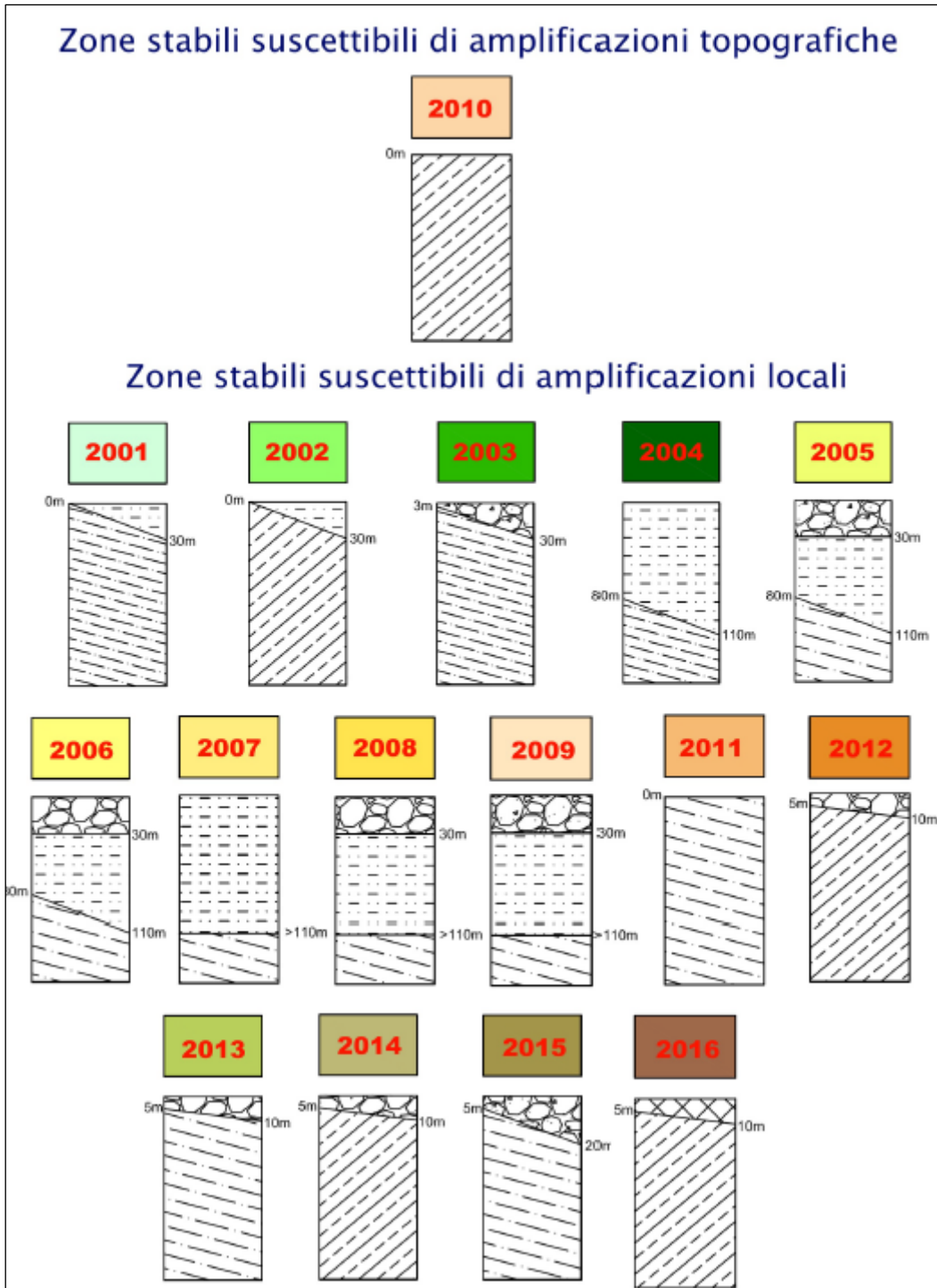
	eluvi/colluvi GPec – Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia di eluvi/colluvi
Depositi alluvionali recenti costituiti da terreni a granulometria grossolana	GMfl – Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di deposito fluvio-lacustre GPfl – Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia di deposito fluvio-lacustre
Depositi alluvionali recenti costituiti da terreni a granulometria fine	MLfl – Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità di deposito fluvio-lacustre
Depositi alluvionali terrazzati	GPtf – Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia di terrazzo fluviale
<i>Formazioni geologiche</i>	
<i>Unità Toscane</i>	
Arenarie di M. Cervarola	LPS – Lapideo stratificato
Arenarie di M. Modino	
Argille di Fiumalbo	ALS – Alternanza di litotipi stratificato
Formazione del Torrente Carigiola	LPS – Lapideo stratificato
Formazione dell'Acquerino	
Formazione di Serpiano	
Marne di Civago	ALS – Alternanza di litotipi stratificato
Marne di Marmoreto	
Formazione di Stagno	LPS – Lapideo stratificato
Macigno	
<i>Unità Liguri</i>	
Formazione di M. Morello	LPS – Lapideo stratificato
Formazione di Sillano	ALS – Alternanza di litotipi stratificato

9.2 – Sezioni geologico-tecniche (TAV. G.6)

La Tavola G.6 contiene n.8 sezioni geologico-tecniche rappresentative dell'intero territorio di pianura e dei centri abitati di Sannommè, Piteccio, Cireglio, Le Piastre e San Felice. Le sezioni sono state elaborate durante gli studi MS di II livello ed aggiornate durante il presente lavoro a seguito della revisione condotta sui fenomeni del dissesto.

9.3 – Carta delle MOPS (TAV. G.7)

Si riportano di seguito le colonne stratigrafiche delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica individuate nello studio di I livello e la legenda delle Zone instabili.



Colonne stratigrafiche delle zone stabili

Zone di Attenzione per Instabilità

	ZAFR – Zona di Attenzione per Instabilità di versante Zona 2010
--	--

Zone di Attenzione per Instabilità

9.4 – Carta della Microzonazione Sismica (TAVV. G.8.1 e G.8.2)

Nelle tabelle riportate di seguito sono elencati i valori dei Fattori di Amplificazione per i periodi 0.1-0.5s e 0.5-1.0s relativamente alle zone stabili ed a quelle instabili.

Zone stabili	Sottozone	FHa 0.1 – 0.5 s	FHa 0.5 – 1.0 s
2001	A (Ag 475<0.15g)	2.1	1.6
	B (Ag 475≥0.15g)	2.0	1.5
2002	Ag 475≥0.15g	2.0	1.5
2003	Ag 475≥0.15g	1.9	1.2
2004	A (Ag 475<0.15g)	1.9	2.0
	B (Ag 475≥0.15g)	1.8	2.0
2005	A (Ag 475<0.15g)	1.8	1.8
	B (Ag 475≥0.15g)	1.5	2.3
2006	Ag 475≥0.15g	1.5	2.3
2007	A (Ag 475<0.15g)	1.2	1.6
	B (Ag 475≥0.15g)	1.1	1.5
2008	A (Ag 475<0.15g)	1.2	1.6
	B (Ag 475≥0.15g)	1.1	1.5
2009	Ag 475≥0.15g	1.1	1.5
2010	Ag 475≥0.15g	1.0 (Ft=1.2)	1.0 (Ft=1.2)
2011	A (Ag 475<0.15g)	1.5	1.1
	B (Ag 475≥0.15g)	1.5	1.1
2012	Ag 475≥0.15g	1.4	1.0
2013	Ag 475≥0.15g	1.4	1.0
2014	A (Ag 475≥0.15g)	1.4	1.0
	B (Ag 475≥0.15g)	1.9	1.8
2015	Ag 475≥0.15g	1.5	1.1
2016	Ag 475≥0.15g	1.4	1.0
Zone instabili	Sottozone	FA 0.1 – 0.5 s	FA 0.5 – 1.0 s
2010	Ag 475≥0.15g	1.4	1.4

10 – CARTA DELLA PERICOLOSITÀ GEOLOGICA (TAV. G.9)

La Carta di Pericolosità Geologica è stata redatta seguendo le prescrizioni del D.P.G.R. 30/01/2020 n. 5/R. Sono state individuate le seguenti classi di pericolosità geologica:

Classe G.1 (pericolosità bassa): aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche e giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfoevolutivi. Vi rientrano principalmente i depositi alluvionali affioranti nelle aree di pianura e di fondovalle.

Classe G.2 (pericolosità media): aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciture dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto. Rientra in questa classe la maggior parte del territorio collinare e montuoso: in particolar modo le aree con

substrato affiorante o subaffiorante di tipo arenaceo ed i depositi di copertura con acclività inferiore a 15°.

Classe G.3 (pericolosità elevata):

- aree in cui sono presenti fenomeni franosi quiescenti e relative aree di evoluzione;
- aree con potenziale instabilità connessa a giacitura, ad acclività, a litologia, alla presenza di acque superficiali/sotterranee e relativi processi di morfodinamica fluviale, nonché a processi di degrado di carattere antropico;
- fenomeni erosivi;
- aree caratterizzate da terreni con scendenti caratteristiche geomeccaniche;
- corpi detritici su versanti con acclività superiori a 15°.

Sono compresi in questa classe aree di substrato affiorante o subaffiorante di composizione argillitica indipendentemente dall'acclività, fenomeni morfologici quiescenti, depositi di copertura con acclività maggiore di 15° ed aree soggette a franosità diffusa di tipo quiescente.

Classe G.4 (pericolosità molto elevata): aree in cui sono presenti fenomeni franosi attivi e relative aree di evoluzione ed aree in cui sono presenti intensi fenomeni geomorfologici attivi di tipo erosivo. Sono comprese in questa classe le frane attive e le aree soggette a franosità diffusa di tipo attivo.

11 – CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (TAV. G.10)

La Carta di Pericolosità Sismica locale è l'elemento di sintesi dello studio di Microzonazione Sismica; anche in questo caso sono state utilizzate le specifiche indicate dal D.P.G.R. 5/R del 30 gennaio 2020, con particolare riferimento al punto C.3 dell'Allegato A della delibera. La Tavola G.10 copre le aree interessate dagli studi MS.

Nella redazione della carta si è tenuto conto:

- della classificazione geologica e geologico-tecnica del territorio;
- dei fattori di amplificazione FH_a.

Classe S1 (pericolosità bassa)

Questa classe non risulta rappresentata nel territorio comunale.

Classe S2 e Sottoclasse S2* (pericolosità media)

Rientrano in questa classe:

- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali connesse con contrasti di impedenza sismica attesa oltre alcune decine di metri dal piano campagna e con frequenza fondamentale del terreno indicativamente inferiore a 1 Hz;
- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali con fattore di amplificazione (FH_a) ≤ 1.4;
- zone suscettibili di amplificazione topografica (pendii con inclinazione superiore a 15°);

Sottoclasse S2* - Pericolosità media

Vi rientrano le aree in cui il fattore di amplificazione risulta (FH_a) ≤ 1.4

solamente nell'intervallo dello spettro 0.1-0.5 s, mentre risulta superiore nell'intervallo 0.5-1.0s. Di questa particolarità occorrerà tener conto in fase di definizione delle condizioni di fattibilità.

Classe S3 (pericolosità elevata)

Rientrano in questa classe:

- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali con fattore di amplificazione (FHa) > 1.4;
- aree interessate da instabilità di versante quiescente e relative aree di evoluzione.

Classe S4 (pericolosità molto elevata)

Rientrano in questa classe:

- aree interessate da instabilità di versante attive e relative aree di evoluzione, tali da subire un'accentuazione del movimento in occasione di eventi sismici.

12 – CARTA DELLE AREE PRESIDATE DA SISTEMI ARGINALI (TAV. G.11)

Si tratta di un elaborato con funzioni indicative per gli indirizzi di protezione civile ed indica le aree situate a quote altimetriche inferiori alla quota posta a 2 metri sopra il piede esterno dell'argine dei corsi d'acqua presenti nel territorio comunali. Il limite esterno di tali aree è determinato dai punti di incontro delle perpendicolari all'asse del corso d'acqua con il terreno alla quota altimetrica sopra individuata pari a 2 metri, comunque non superiore alla distanza di 300 metri dal piede esterno dell'argine.

13 – GLI STUDI IDROLOGICO IDRAULICI

Gli studi idrologico idraulici sono stati eseguiti a scala di comparto analizzando nel suo complesso il bacino del T. Ombrone; in sintesi è stato analizzato l'intero territorio del bacino, interessando quindi i territori dei Comuni di Pistoia, Serravalle P.se, Agliana, Quarrata e Montale.¹

Lo studio, alle cui relazioni tecnico metodologiche si rimanda per una descrizione di dettaglio, è stato completato nel gennaio 2024, ed è stato condotto in ottemperanza alle disposizioni normative regionali (vedi D.P.G.R. del 30/01/2020 n.5/R), con metodologia conforme all'Allegato 3 delle norme del P.G.R.A. dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale. Le perimetrazioni delle aree allagabili sono state ricostruite con riferimento ai parametri (battenti e velocità) stabiliti per le varie classi di magnitudo dalla L.R. 41/2018. Si tratta di uno studio molto esteso ed approfondito redatto dagli **Ingg. Simone Galardini, David Settesoldi e Cristiano Cappelli**. Si riporta di seguito, per sommi capi, una descrizione del lavoro svolto, delle metodologie applicate e dei risultati ottenuti. Infine vengono descritti in modo sintetico alcuni estratti cartografici ritagliati sul limite del Comune di Pistoia (Carta dei battenti per Tr200, Carta della velocità della corrente, Carta della

¹ Cappelli, C, Galardini S., Settesoldi D. (2024). Aggiornamento delle mappe di pericolosità da alluvione e rischio di alluvioni comprensive di battenti e velocità necessarie per l'applicazione della LR 41/2018, ai sensi dell'art. 4 della legge regionale n°73 del 27/12/2018 per i Comuni di Pistoia, Agliana, Quarrata, Montale e Serravalle Pistoiese. Commissionato dai Comuni di Pistoia, Agliana, Quarrata, Montale e Serravalle Pistoiese.

Magnitudo idraulica, Carta di pericolosità idraulica).

Limitatamente alla porzione del territorio comunale che afferisce al F. Reno, la zonazione di pericolosità è stata ricavata dalle carte allegatale al PGRA del Bacino del F. PO; Si tratta di un'analisi condotta su base geomorfologica che non contiene valutazioni sui battenti e sulle velocità di flusso.

13.1 – Idrologia

Obiettivo dell'analisi idrologica è fornire gli idrogrammi di piena per i bacini e i sottobacini oggetto del presente studio da utilizzarsi come forzanti nella modellazione idraulica. Le condizioni di portata sono state determinate con riferimento ai tempi di ritorno di 30 e 200 anni e per le durate pari a 0.5, 1, 2, 3, 6, 9, 12, 18, 24 e 36 ore. L'analisi idrologica è stata condotta mediante l'applicazione di un modello idrologico a parametri distribuiti, denominato PIENE, che prevede la schematizzazione a celle del bacino, per ciascuna delle quali viene definito un set di parametri che ne caratterizzano la risposta idrologica. Questo modello a parametri distribuiti è in grado di simulare sia il fenomeno della formazione dell'onda di piena che quello del suo trasferimento a scala di bacino.

Lo studio, come esplicitato in dettaglio nella citata Relazione Idrologica può essere riassunto nei seguenti macro passaggi:

- creazione delle mappe di base per la caratterizzazione del modello afflussi-deflussi;
- taratura dei parametri del modello su eventi noti;
- calcolo dei parametri di bacino;
- validazione del modello tramite confronto con i risultati di studi pregressi;
- calcolo degli idrogrammi di piena dei bacini e sottobacini oggetto di studio per tempi di ritorno e durate indagate.

Per quanto riguarda il modello afflussi/deflussi, nello studio sono state elaborate le seguenti mappe di base:

- mappa delle pendenze;
- mappa delle velocità di trasferimento;
- mappa dei tempi di trasferimento;
- mappa capacità di ritenuta;
- mappa velocità di infiltrazione;
- mappa coefficiente a;
- mappa coefficiente n;
- mappa coefficiente m.

La taratura è stata svolta con riferimento all'evento critico del marzo 2018 alle stazioni:

- Pontelungo Valle;
- Poggio a Caiano;
- Ponte alla Ceppa;
- Ponte alle Vanne;
- Ponte dei Gelli;

- Variante Pratese.

Sulla base del percorso descritto sono stati elaborati gli idrogrammi per Tr30 e per Tr200, per tutti i bacini analizzati.

13.2 – Idraulica

Nella tabella che segue sono indicati i corsi d'acqua compresi nel territorio comunale di Pistoia, oggetto dello studio idraulico intercomunale Pistoia, Montale, Agliana, Quarrata e Serravalle Pistoiese. Il reticolo oggetto di studio è stato suddiviso, per ragioni di modellazione idraulica, in due sistemi di seguito denominati “acque alte” e “acque basse”.

Acque alte	Acqua basse
<i>FOSSO ACQUALUNGA</i>	<i>FOSSO ACQUALUNGA</i>
<i>TORRENTE BRANA</i>	<i>FOSSO DELLA BADIA</i>
<i>FOSSO BRUSIGLIANO</i>	<i>FOSSO BRUSIGLIANO</i>
<i>TORRENTE BURE DI SANTO MORO</i>	<i>FOSSO DOGAIA DEI QUADRELLI</i>
<i>TORRENTE BURE DI BAGGIO</i>	<i>FOSSO LA SETTOLA</i>
<i>TORRENTE BURE</i>	<i>FOSSO DEL TAZZERINO</i>
<i>RIO SANT'ALESSIO O RIO DIECINE</i>	<i>FOSSO TAZZERA</i>
<i>FOSSO DELLA CASACCIA</i>	<i>FOSSO IL GORELLO</i>
<i>FOSSO DI CASERO BIANCA</i>	<i>FOSSO TAZZERINO</i>
<i>FOSSO DEL CASTELLO BIAGINI</i>	<i>FOSSO SCOLMATORE ACQUALUNGA</i>
<i>FOSSO DEL DOCCIOLINO</i>	<i>FOSSO DEL PANCONI</i>
<i>FOSSO FARNIO O DI FALCHERETO</i>	<i>FOSSO OMBRONCELLO</i>
<i>FOSSO TREDICI</i>	<i>FOSSO FARNIO O DI FALCHETTO</i>
<i>FOSSO GAGLIANO</i>	<i>FOSSO DOGAIA O DELLA SENICE</i>
<i>RIO DELLA FALLITA</i>	<i>FOSSO DEL BOLLACCHIONE</i>
<i>FOSSO DI BULICATA</i>	<i>FOSSO DELLA BURACCIA</i>
<i>FOSSO DELLE CAVALLACCE</i>	<i>FOSSO DEI PONTACCI</i>
<i>FOSSO DEI FORTI</i>	
<i>FOSSO DELLA FORRETTA</i>	
<i>FOSSO DI VINACCIANO</i>	
<i>FOSSO DI SAN QUIRICO</i>	
<i>FOSSO DI SAN SEBASTIANO</i>	
<i>TORRENTE STELLA</i>	
<i>FOSSO TAZZERA</i>	
<i>FOSSO DEL TAZZERA DI TORBECCHIA</i>	
<i>FOSSO TORBECCHIA</i>	
<i>FOSSO DEL TAZZERINO (LAGO GABBIANO)</i>	
<i>TORRENTE VINCIO DI BRANDEGLIO</i>	
<i>TORRENTE VINCIO DI MONTAGNANA</i>	
<i>TORRENTE OMBRONE P.SE</i>	

I corsi d'acqua oggetto di modellazione e la loro suddivisione in sistema di acque alte e basse sono stati preventivamente condivisi con il Genio Civile Valdarno Centrale ed Autorità Distrettuale Appennino Settentrionale. Nel suo complesso lo studio si è articolato in più fasi di lavoro, che hanno riguardato nello specifico la topografia, l'idrologia e la modellazione idraulica.

Relativamente alla topografia sono stati acquisiti in primis tutti i dati topografici esistenti sui corsi d'acqua d'interesse e sulle aree a campagna potenzialmente interessate dagli allagamenti, per poi eseguire rilievi topografici “originali” sui tratti privi di dettaglio geometrico o laddove fossero state eseguite modifiche successive alla data del rilievo.

Parallelamente al rilevamento topografico a sezioni dei corsi d'acqua, si è provveduto ad aggiornare il DTM del volo LiDAR nelle aree oggetto di importanti trasformazioni urbanistiche o di realizzazione di nuove viabilità o laddove carente o mancante, al fine di ricostruire un modello digitale tridimensionale del terreno aggiornato in grado di

rappresentare compiutamente il piano campagna su cui effettuare le propagazioni dei volumi di piena esondati (ad esempio tutta la zona limitrofa al Torrente Bure di Baggio, che non è coperta dal LiDAR).

Oltre alle casistiche sopra riportate, il LiDAR è stato aggiornato con i rilievi *as built* delle opere idrauliche realizzate, la cui geometria è stata inserita anche nei modelli idraulici.

La modellazione idrologica ha invece avuto l'obiettivo di fornire gli idrogrammi di piena per i bacini e i sottobacini oggetto di modellazione, con riferimento ai tempi di ritorno di 30 e 200 anni e per le durate pari a 0.5, 1, 2, 3, 6, 9, 12, 18, 24 e 36 ore.

L'analisi idrologica è stata condotta mediante l'applicazione di un modello idrologico a parametri distribuiti, denominato PIENE, che prevede la schematizzazione a celle del bacino, per ciascuna delle quali viene definito un set di parametri che ne caratterizzano la risposta idrologica. Il suddetto modello a parametri distribuiti è in grado di simulare sia il fenomeno della formazione dell'onda di piena che quello del suo trasferimento a scala di bacino.

Lo studio idrologico realizzato può essere riassunto nei seguenti macro passaggi:

- creazione delle mappe di base per la caratterizzazione del modello afflussi-deflussi;
- taratura dei parametri del modello su eventi noti;
- calcolo dei parametri di bacino;
- validazione del modello tramite confronto con i risultati di studi pregressi;
- calcolo degli idrogrammi di piena dei bacini e sottobacini oggetto di studio per tempi di ritorno e durate indagate.

Una volta definiti gli idrogrammi di riferimento e le geometrie dei corsi d'acqua sono state implementate le modellazioni idrauliche; al fine far interagire correttamente a livello di modellazione idraulica i due sistemi "acque alte" e "acque basse" così come precedentemente descritti; all'interno del modello di calcolo delle "acque alte" sono stati inseriti anche i tratti terminali dei seguenti corsi d'acqua del reticolo delle "acque basse":

- Fosso Acqualunga;
- Fosso Brusigliano;
- Fosso Dogaia dei Quadrelli;
- Fosso Tazzera;
- Fosso del Tazzerino (Lago Gabbiano).

L'inserimento di detti tratti è stato finalizzato a simulare il comportamento del tratto di rigurgito dei corsi d'acqua di "acque basse", e conseguentemente eseguire una corretta stima delle esondazioni lungo detti tratti per effetto dell'interazione tra il sistema delle "acque alte" e quello delle "acque basse", in quanto sono state inserite nel modello delle "acque alte" le portate idrauliche in arrivo dalle "acque basse" e nel sistema delle "acque basse" i livelli idrometrici alla sezione di chiusura del modello di calcolo, posta in corrispondenza della confluenza con il recettore di acque alte. Per effettuare detta operazione è stata adottata la procedura di seguito descritta:

- esecuzione di simulazioni sulle intere aste delle "acque basse" con condizione al contorno di valle mediante "*normal depth*", ossia non considerando l'effetto dei livelli del corso d'acqua principale di acque alte sul reticolo di "acque basse";
- estrazione, per ogni scenario di calcolo, degli idrogrammi "idraulici" in corrispondenza

delle sezioni di monte dei tratti terminali di “acque basse” che sono stati inseriti anche all’interno del modello delle “acque alte”;

- esecuzione di simulazioni “finali” del modello con il sistema delle “acque alte” avendo assegnato, come condizione al contorno di monte, gli input degli idrogrammi idraulici definiti al passo precedente;
- estrazione, per ogni scenario di calcolo, dei livelli idrometrici in corrispondenza delle sezioni alla confluenza tra il corso d’acqua di “acque basse” e quello di “acque alte”;
- esecuzione di simulazioni “finali” del modello con il sistema delle “acque basse” avendo assegnato, come condizione al contorno di valle di ogni asta di acque basse, i livelli idrometrici definiti al passo precedente.

Le simulazioni sono state condotte con schema accoppiato 1D-2D, che ha consentito di mappare gli scenari di allagabilità per i vari tempi di ritorno d’interesse, mediante involuppo dei risultati delle varie durate considerate.

Sulla base della carta delle aree allagabili con indicazione dei battenti e delle velocità, redatte come precedentemente indicato, è stata elaborata successivamente la carta della pericolosità idraulica ai sensi della classificazione del PGRA e della L.R. 41/18, ossia individuando le aree a pericolosità idraulica P3 (corrispondente a scenari per alluvioni frequenti definiti con riferimento al tempo di ritorno non inferiore a 30 anni, vedi definizioni art.2 comma 1 lett. a della L.R. 41/18), P2 (corrispondente a scenari per alluvioni poco frequenti definiti con riferimento al tempo di ritorno non inferiore a 200 anni, vedi definizioni art.2 comma 1 lett. b della L.R. 41/18) e P1 (pericolosità da alluvione bassa, corrispondente ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno superiore a 200 anni e comunque corrispondenti al fondovalle alluvionale, vedi art.6 comma 1 della Disciplina di Piano del PGRA).

13.3 – Gli elaborati cartografici di base (Tavv. I.1-I.3)

Per quanto riguarda la **Carta dei battenti per Tr200 (Tav. I.1)** si osserva:

- in merito al bacino dell’Ombrone, sono stati utilizzati i valori indicati nello studio idraulico descritto al paragrafo precedente. La scansione con cui sono suddivisi i valori dei battenti è sufficientemente particolareggiata da consentire una lettura di buon dettaglio degli eventi attesi;
- per la porzione di territorio che afferisce al bacino del F. Reno, è stato assegnato un valore convenzionale di battente pari a 2 metri; questa scelta è stata presa in accordo con l’art.18 comma 2 lettera b della L.R. 41/2018, per le aree in cui non sia determinato il valore del battente idraulico.

Nella **Carta della velocità della corrente (TAV. I.2)** le aree allagabili per Tr200 sono state suddivise in base al valore soglia di velocità pari a 1 m/s; la quasi totalità del territorio è caratterizzata da valori di velocità molto bassa, come è da attendersi in una pianura con pendenze medie dell’ordine del 1-2%. L’informazione sulla velocità di flusso è disponibile solamente nell’ambito del bacino del T. Ombrone mentre, in assenza di studi idrologico idraulici, manca lungo l’asta del F. Reno.

Per quanto riguarda la **Carta della magnitudo idraulica (Tav. I.3)** definita ai sensi della L.R. 41/18, l'elaborazione è stata sviluppata con i seguenti criteri:

- limiti esterni delle aree a magnitudo coincidenti con i perimetri delle aree a pericolosità idraulica P2;
- definizione della magnitudo tramite modo “diretto” in GIS, senza quindi operare modifiche “manuali”, secondo il seguente algoritmo, basato sulla L.R. 41/2018;
- 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);
- 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);
- 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.

Dall'osservazione della carta si osserva:

- la definizione delle classi di magnitudo dipende quasi esclusivamente dai valori del battente; come detto, infatti, la velocità di flusso è quasi ovunque molto bassa;
- le aree allagabili lungo l'asta del F. Reno sono state classificate in magnitudo molto severa coerentemente con l'assegnazione del valore convenzionale del battente per Tr200 pari a 2 metri.

14 – CARTA DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA (Tav. I.4)

Sulla base della carta delle aree allagabili con indicazione dei battenti e delle velocità, redatte come precedentemente indicato, è stata elaborata la carta della pericolosità idraulica ai sensi della classificazione del PGRA e della L.R. 41/18, ossia individuando le aree a:

- **pericolosità idraulica P3** (corrispondente a scenari per alluvioni frequenti definiti con riferimento al tempo di ritorno non inferiore a 30 anni (vedi definizioni art.2 comma 1 lett. a della L.R. 41/18);
- **pericolosità idraulica P2** (corrispondente a scenari per alluvioni poco frequenti definiti con riferimento al tempo di ritorno non inferiore a 200 anni, vedi definizioni art.2 comma 1 lett. b della L.R. 41/18);
- **pericolosità idraulica P1** (pericolosità da alluvione bassa, corrispondente ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno superiore a 200 anni e comunque corrispondenti al fondovalle alluvionale, vedi art.6 comma 1 della Disciplina di Piano del PGRA).

Nel passaggio dalle carte dei battenti per Tr30 e per Tr200, a quella della pericolosità, è stato effettuato un processo di “*smoothing*” del dato, in modo da eliminare pixel distaccati dal corpo delle esondazioni o pixel isolati. Allo stesso modo si è cercato di eliminare “l'effetto isola” all'interno delle aree inondate, salvo veri alti morfologici, al fine di dare un continuum alla forma dell'esondazione, attribuendo pertanto a queste aree la classe di pericolosità dell'area limitrofa. In dettaglio, la carta di pericolosità è stata elaborata applicando i seguenti criteri operativi alle aree allagabili per Tr 30 e Tr 200 anni:

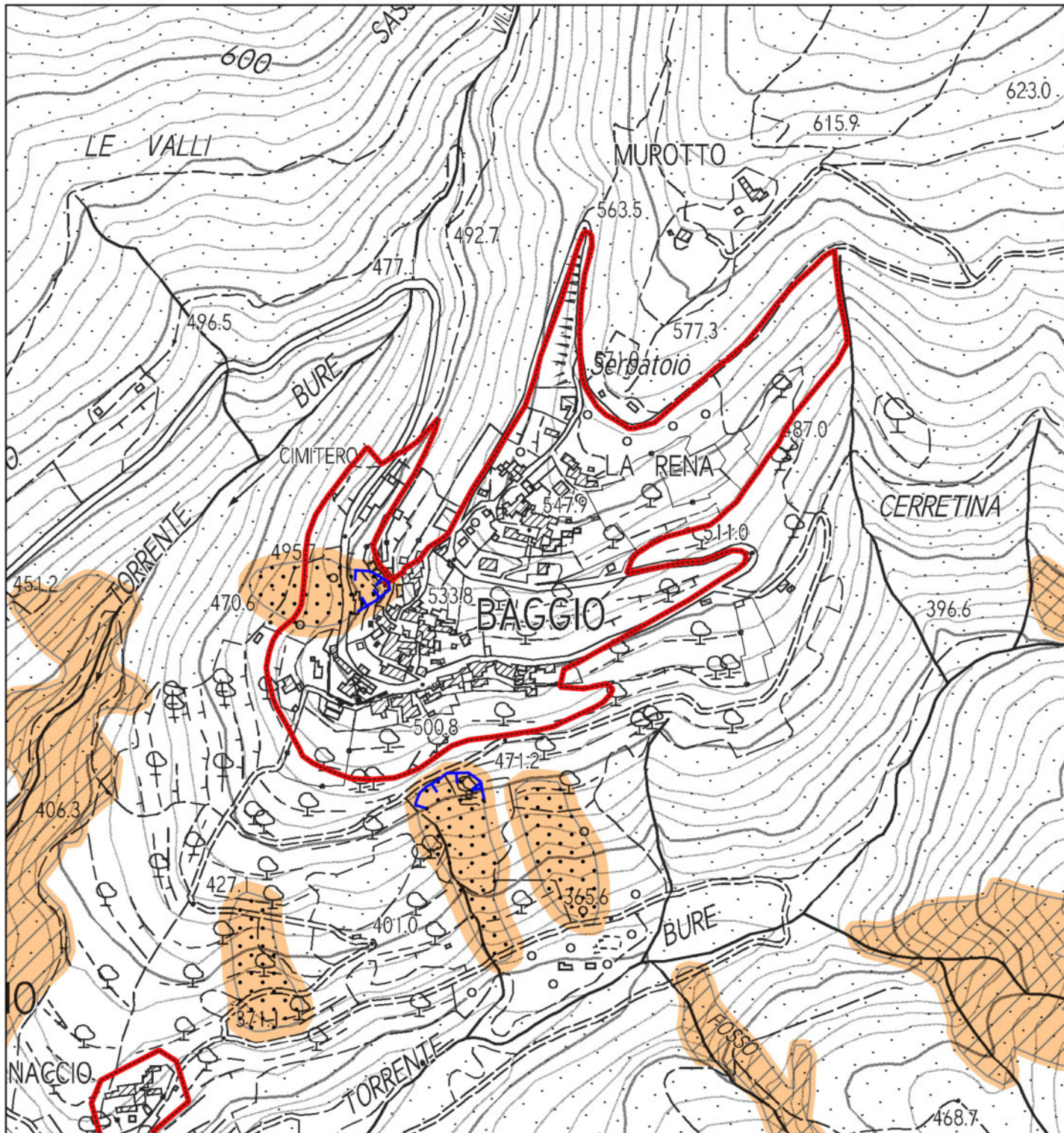
- inserimento all'interno delle aree a pericolosità idraulica anche delle aree che, in base al modello di calcolo non risultano allagate, ma che presentano estensione "limitata", si trovano in condizioni morfologiche simili alle aree limitrofe, sono posizionate in prossimità di tracimazione spondale/arginale ed inoltre, in caso di evento alluvionale, sono difficilmente accessibili o in certi casi inaccessibili e pertanto soggette, anche se indirettamente, ad una condizione di pericolo per aspetti idraulici. E' stato deciso di operare cautelativamente con questa modalità anche per tener conto dei limiti ed incertezze delle modellazione quali ad esempio le imprecisioni insite nel DTM di riferimento:
- "sfrangiature" e "regolarizzazioni" lungo le situazioni di bordo che risultano sui limiti esterni delle aree allagabili in particolare nelle zone dove sono presenti bassi battenti, fosse/fossetti e/o in caso di situazioni topografiche particolari;
- esclusione delle aree che risultano inserite tra quelle allagate con battenti dell'ordine di pochi cm solo in corrispondenza delle fosse campestri esistenti.

In riferimento a quelle aree che non risultano allagate in base al modello idraulico di calcolo ma che, per le motivazioni sopra esposte, sono state perimetrate all'interno delle aree a pericolosità idraulica P3 o P2, in sede di stesura delle norme tecniche di attuazione degli strumenti urbanistici, si suggerisce di indicare una delle seguenti modalità per "assegnare" il franco di sicurezza idraulico da tenere a riferimento nella progettazione degli interventi:







- franco univocamente stabilito in 30 cm a prescindere dalle zone e dai contesti;
- franco determinato dal tecnico incaricato della progettazione dell'intervento edilizio in base a valutazioni topografiche specifiche ed in considerazione dei battenti di allagamento che risultano per le aree limitrofe/circostanti.

Appendice

Cartografie di dettaglio in scala 1:5.000



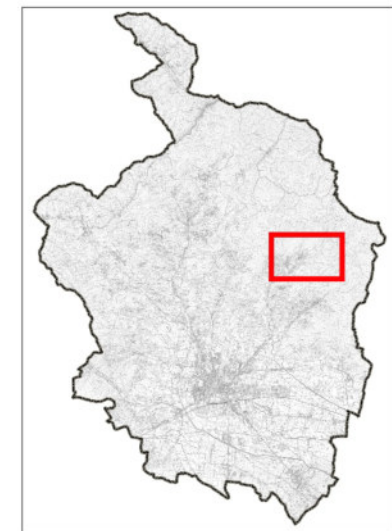
**COMUNE DI PISTOIA
LOCALITÀ BAGGIO
SCALA 1:5.000**

-  Frana di scorrimento attiva
-  Frana di scorrimento quiescente
-  Area soggetta a franosità diffusa attiva
-  Area soggetta a franosità diffusa quiescente
-  Area di evoluzione delle forme di dissesto attive
-  Area di evoluzione delle forme di dissesto quiescenti







 Corona di frana

 Territorio urbanizzato

I corpi di frana includono la zona di distacco, la zona di scorrimento e la zona di accumulo



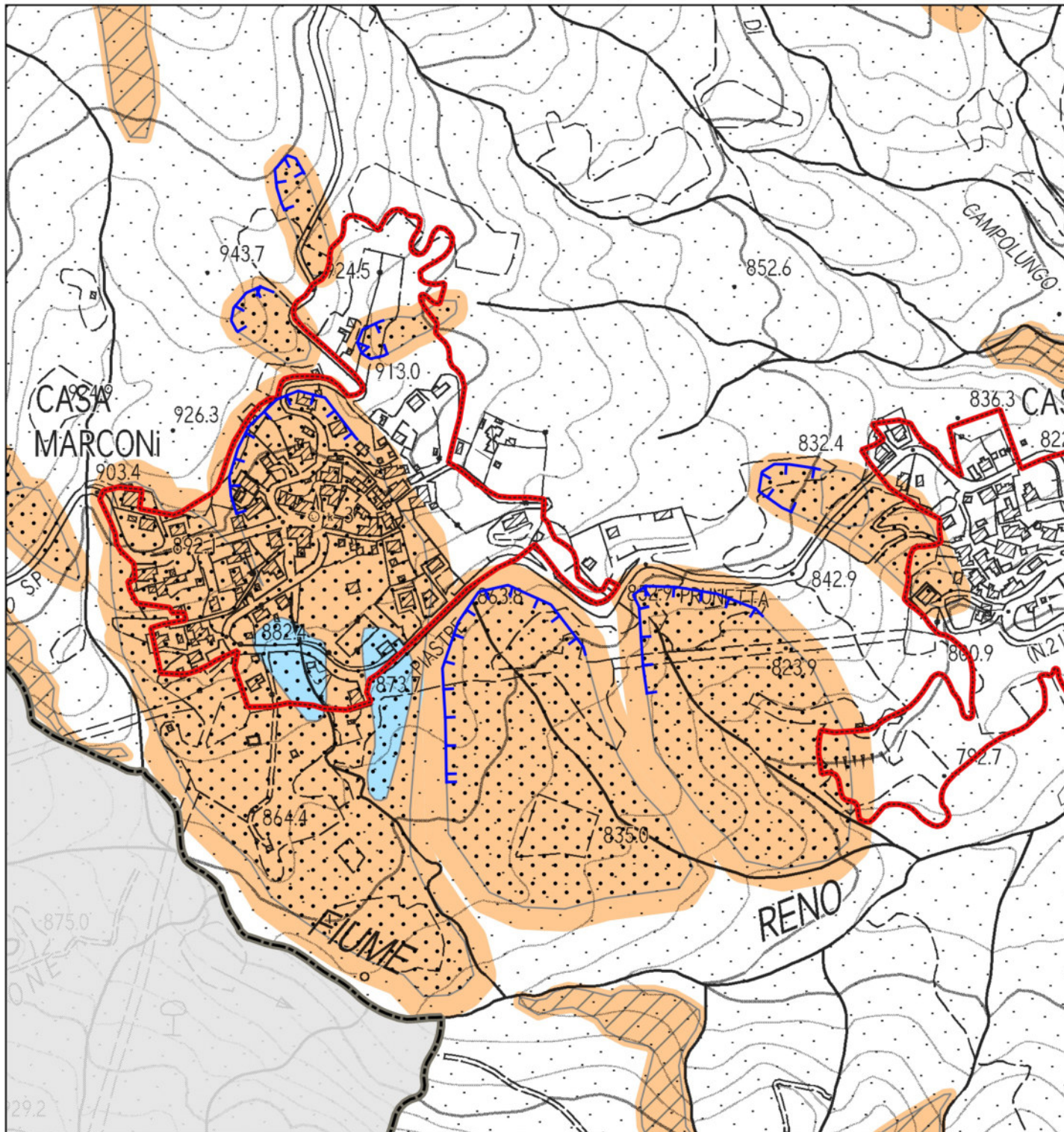
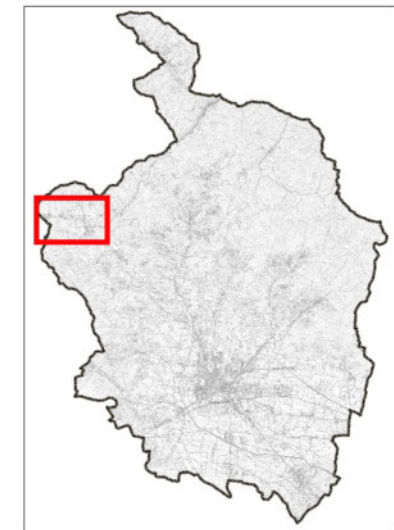
**COMUNE DI PISTOIA
LOCALITÀ CASA MARCONI
SCALA 1:5.000**

-  Frana di scorrimento attiva
-  Frana di scorrimento quiescente
-  Area soggetta a franosità diffusa attiva
-  Area soggetta a franosità diffusa quiescente
-  Area di evoluzione delle forme di dissesto attive
-  Area di evoluzione delle forme di dissesto quiescenti









 Corona di frana

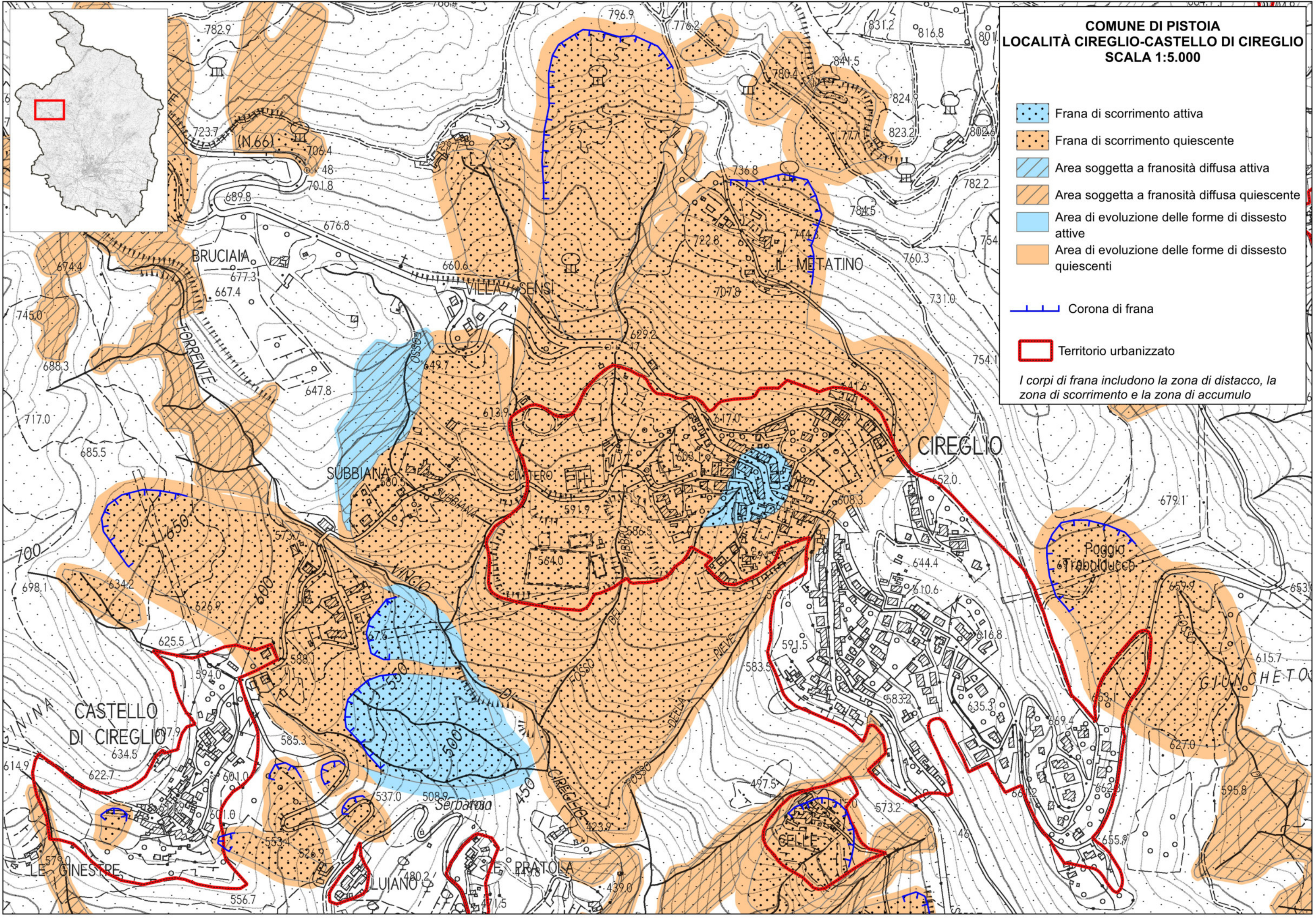
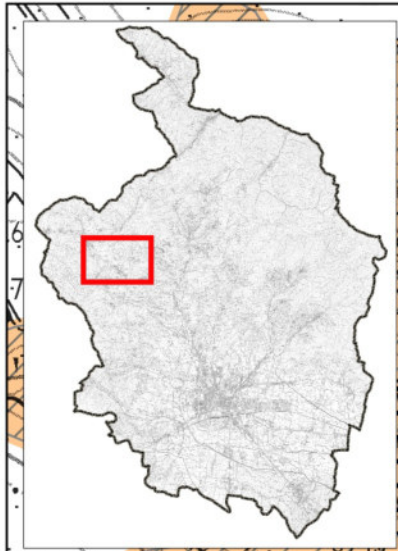
 Territorio urbanizzato

I corpi di frana includono la zona di distacco, la zona di scorrimento e la zona di accumulo









COMUNE DI PISTOIA
LOCALITÀ CIREGLIO-CASTELLO DI CIREGLIO
SCALA 1:5.000

-  Frana di scorrimento attiva
 -  Frana di scorrimento quiescente
 -  Area soggetta a franosità diffusa attiva
 -  Area soggetta a franosità diffusa quiescente
 -  Area di evoluzione delle forme di dissesto attive
 -  Area di evoluzione delle forme di dissesto quiescenti
 -  Corona di frana
 -  Territorio urbanizzato
- I corpi di frana includono la zona di distacco, la zona di scorrimento e la zona di accumulo*



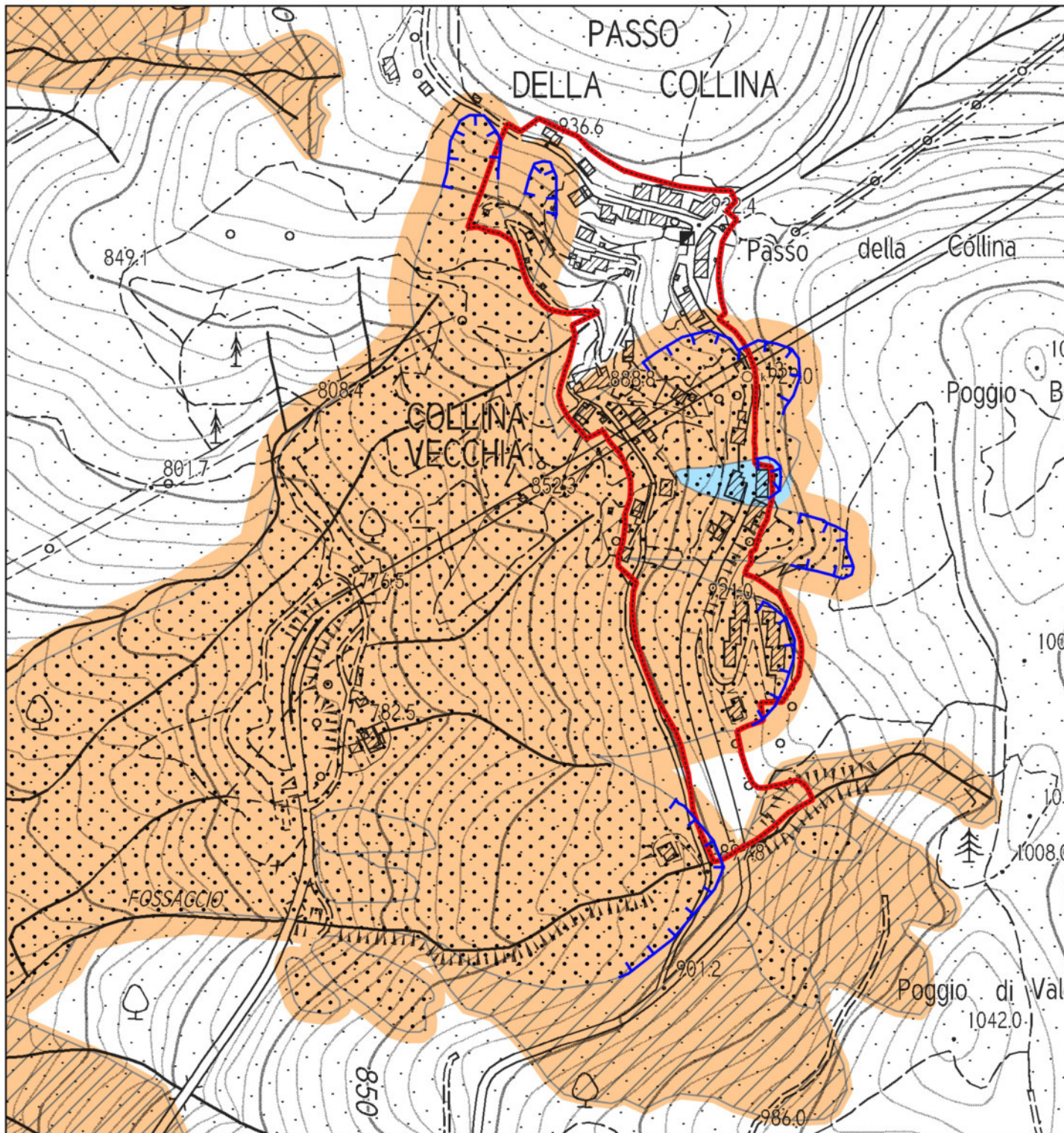
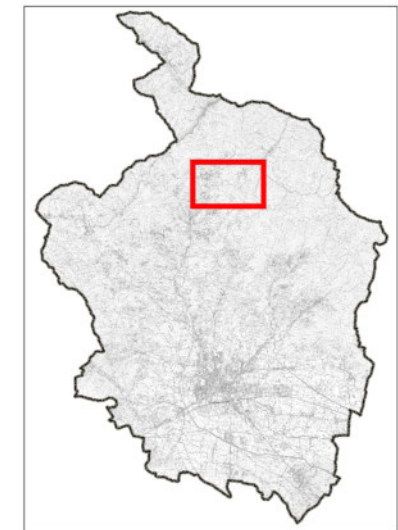
**COMUNE DI PISTOIA
LOCALITÀ COLLINA VECCHIA
SCALA 1:5.000**

-  Frana di scorrimento attiva
-  Frana di scorrimento quiescente
-  Area soggetta a franosità diffusa attiva
-  Area soggetta a franosità diffusa quiescente
-  Area di evoluzione delle forme di dissesto attive
-  Area di evoluzione delle forme di dissesto quiescenti







 Corona di frana

 Territorio urbanizzato

I corpi di frana includono la zona di distacco, la zona di scorrimento e la zona di accumulo



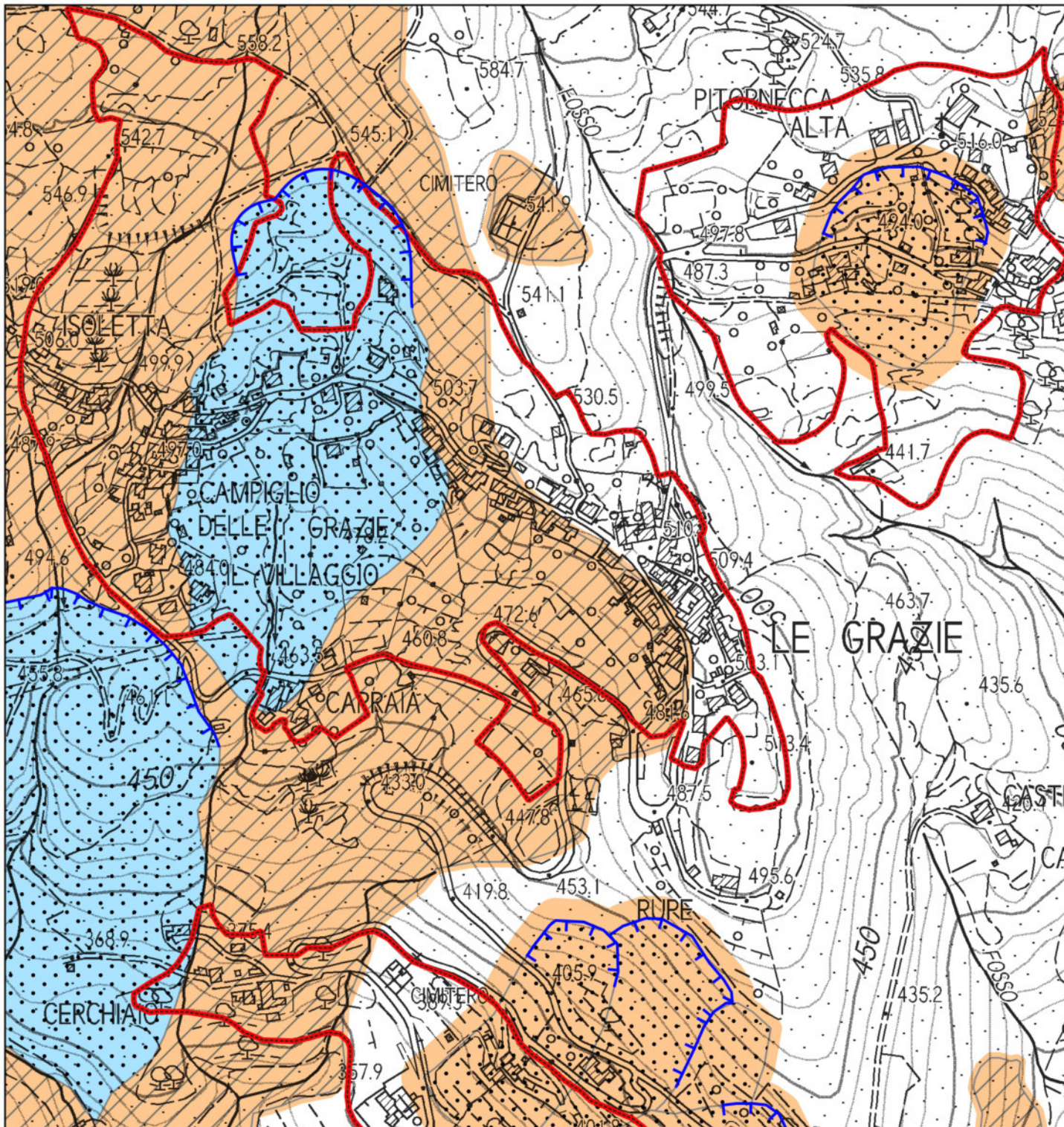
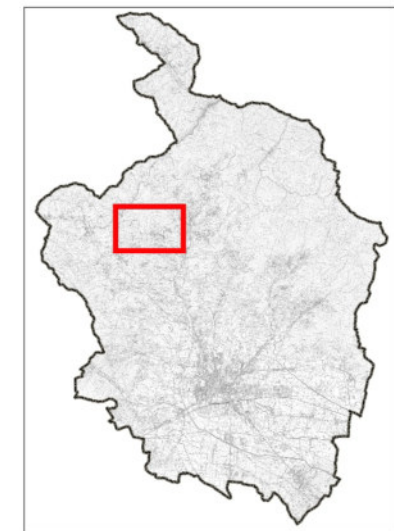
**COMUNE DI PISTOIA
LOCALITÀ LE GRAZIE (nord)
SCALA 1:5.000**

-  Frana di scorrimento attiva
-  Frana di scorrimento quiescente
-  Area soggetta a franosità diffusa attiva
-  Area soggetta a franosità diffusa quiescente
-  Area di evoluzione delle forme di dissesto attive
-  Area di evoluzione delle forme di dissesto quiescenti







 Corona di frana

 Territorio urbanizzato

I corpi di frana includono la zona di distacco, la zona di scorrimento e la zona di accumulo



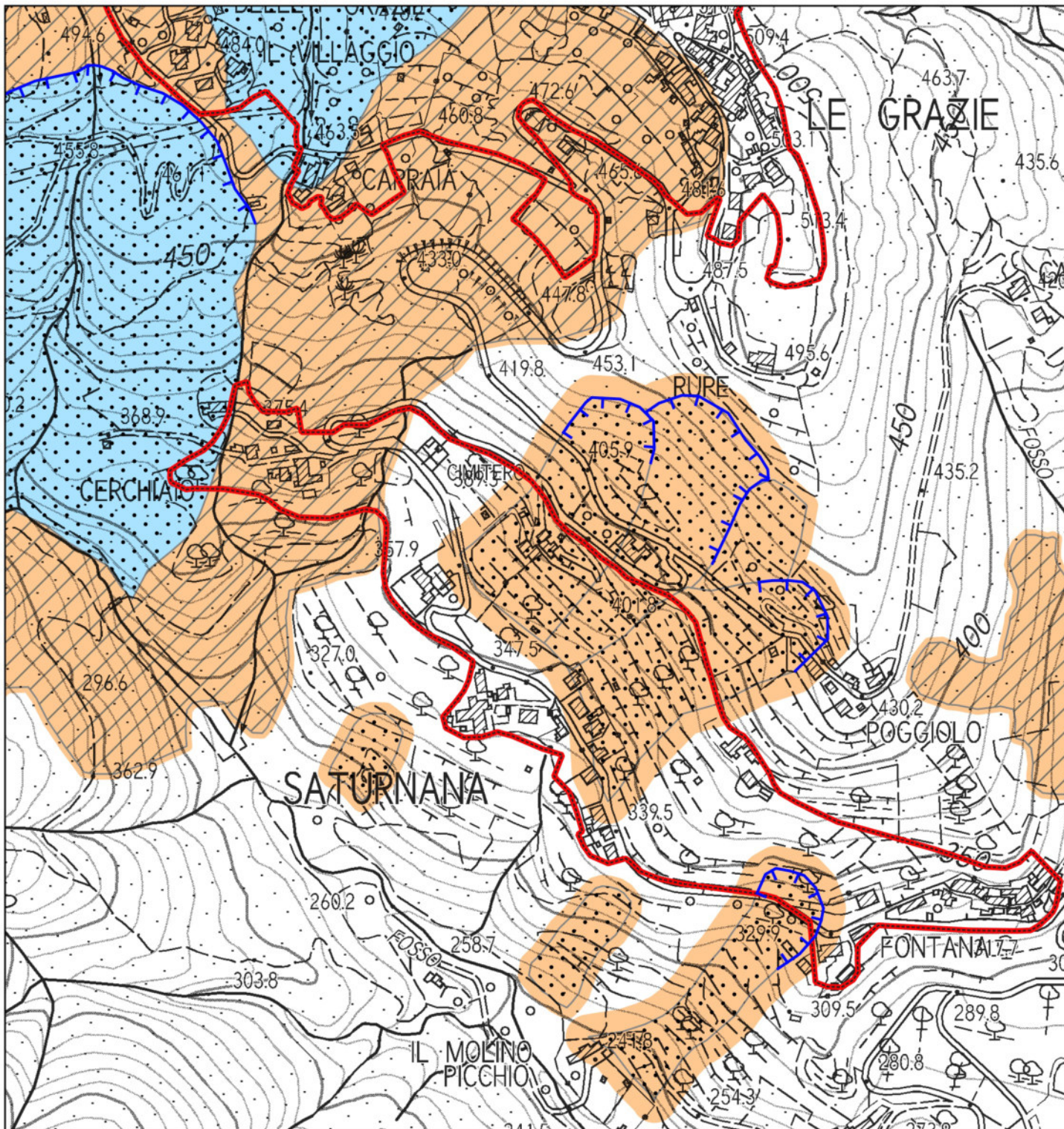
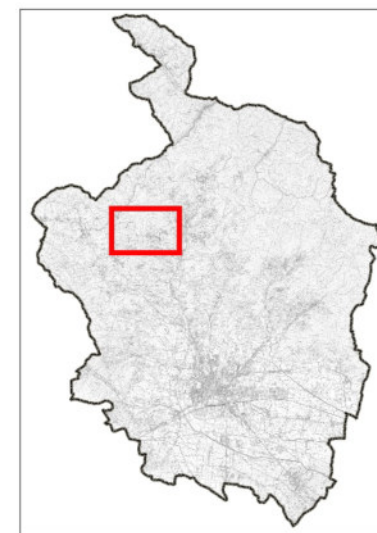
COMUNE DI PISTOIA
LOCALITÀ LE GRAZIE (sud)
SCALA 1:5.000

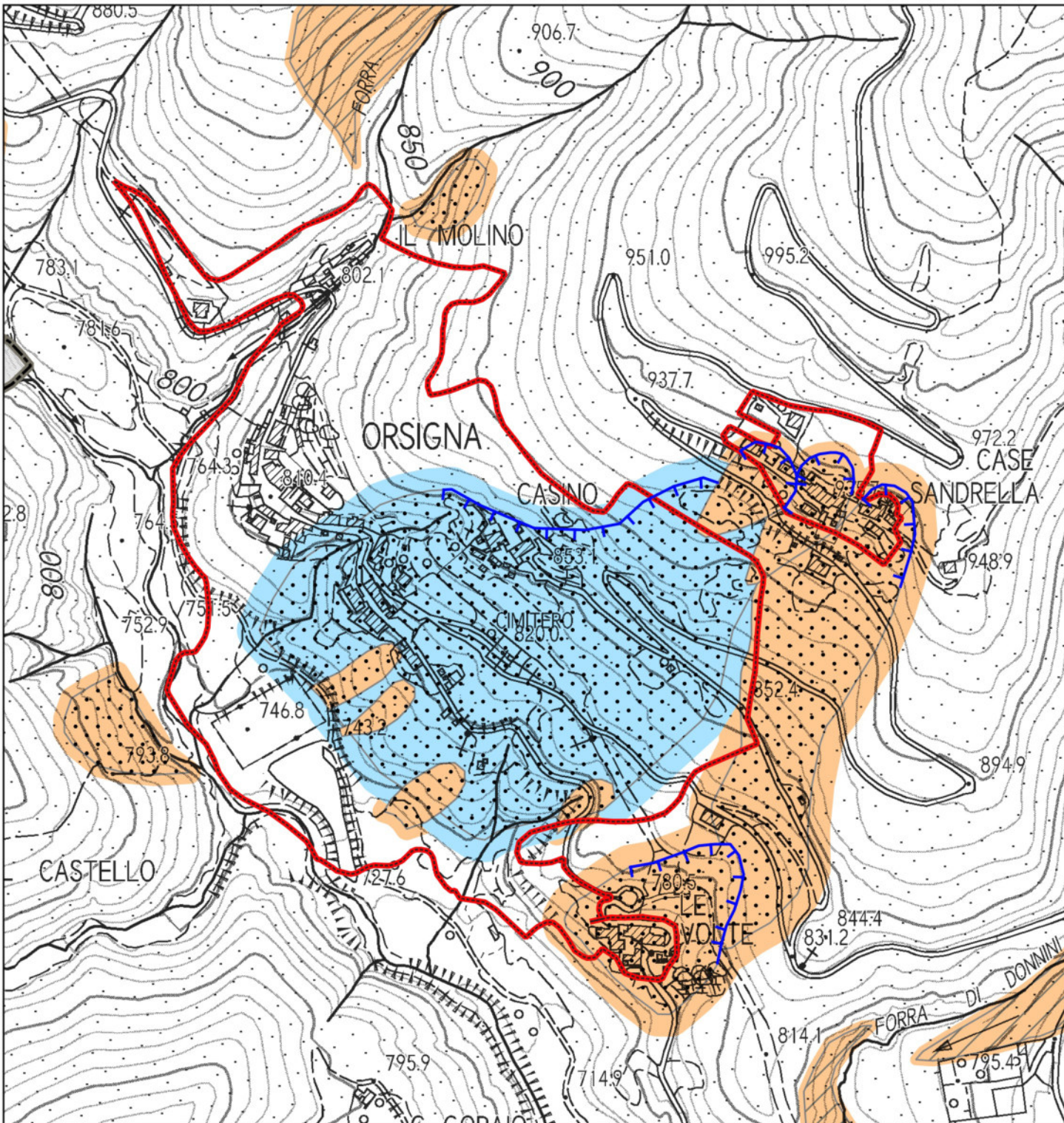
-  Frana di scorrimento attiva
-  Frana di scorrimento quiescente
-  Area soggetta a franosità diffusa attiva
-  Area soggetta a franosità diffusa quiescente
-  Area di evoluzione delle forme di dissesto attive
-  Area di evoluzione delle forme di dissesto quiescenti

 Corona di frana







 Territorio urbanizzato

I corpi di frana includono la zona di distacco, la zona di scorrimento e la zona di accumulo





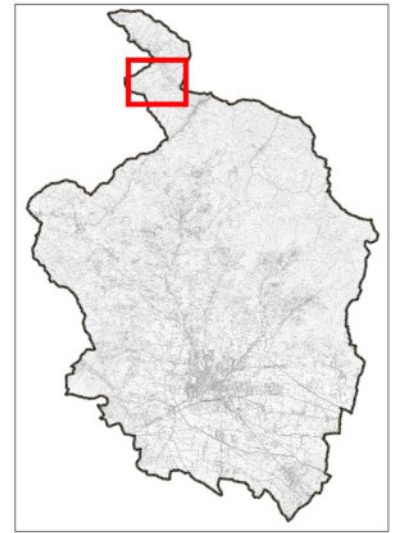
**COMUNE DI PISTOIA
LOCALITÀ ORSIGNA
SCALA 1:5.000**

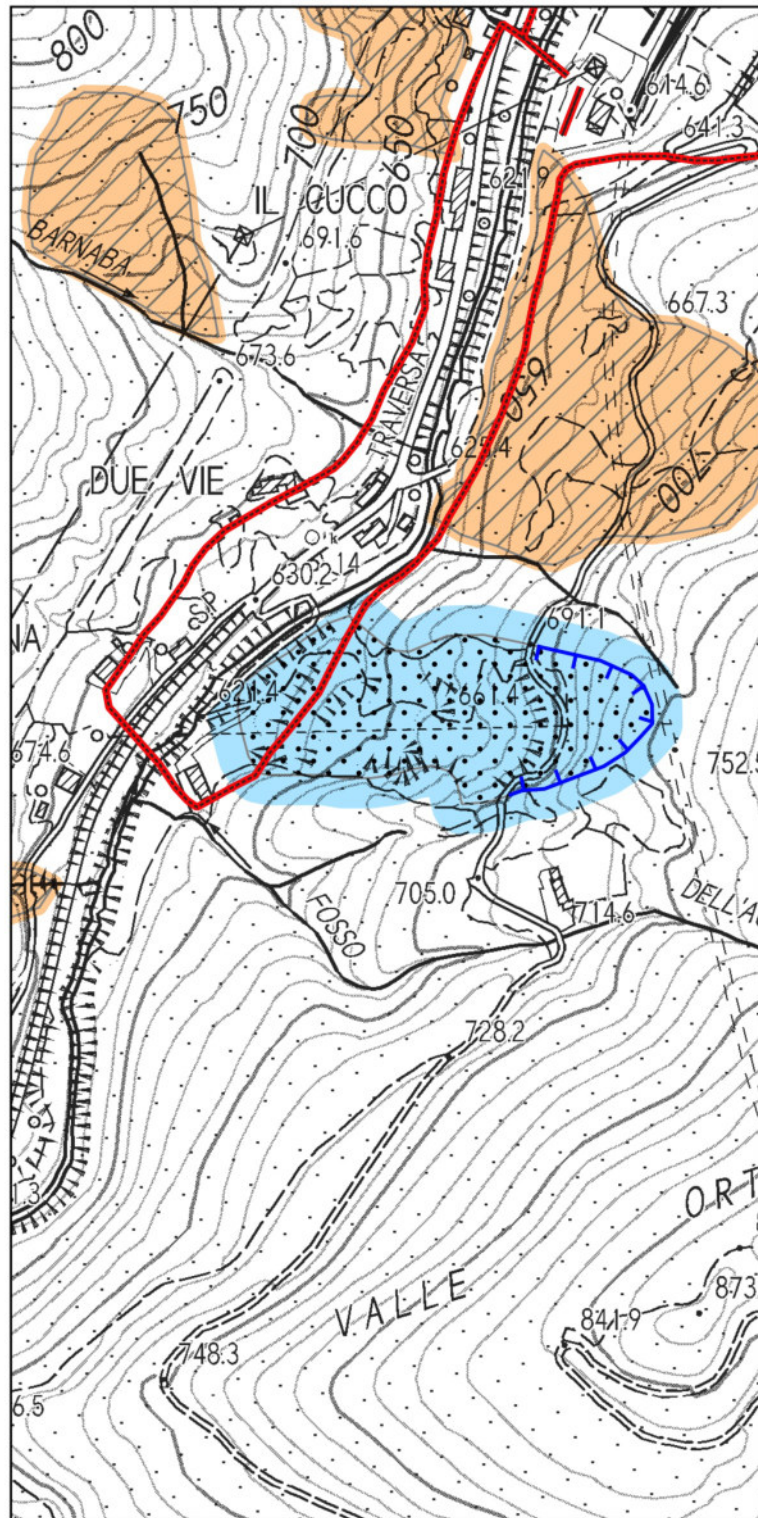
-  Frana di scorrimento attiva
-  Frana di scorrimento quiescente
-  Area soggetta a franosità diffusa attiva
-  Area soggetta a franosità diffusa quiescente
-  Area di evoluzione delle forme di dissesto attive
-  Area di evoluzione delle forme di dissesto quiescenti

 Corona di frana









 Territorio urbanizzato

I corpi di frana includono la zona di distacco, la zona di scorrimento e la zona di accumulo

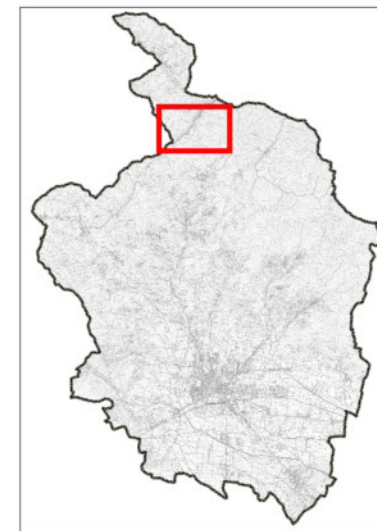


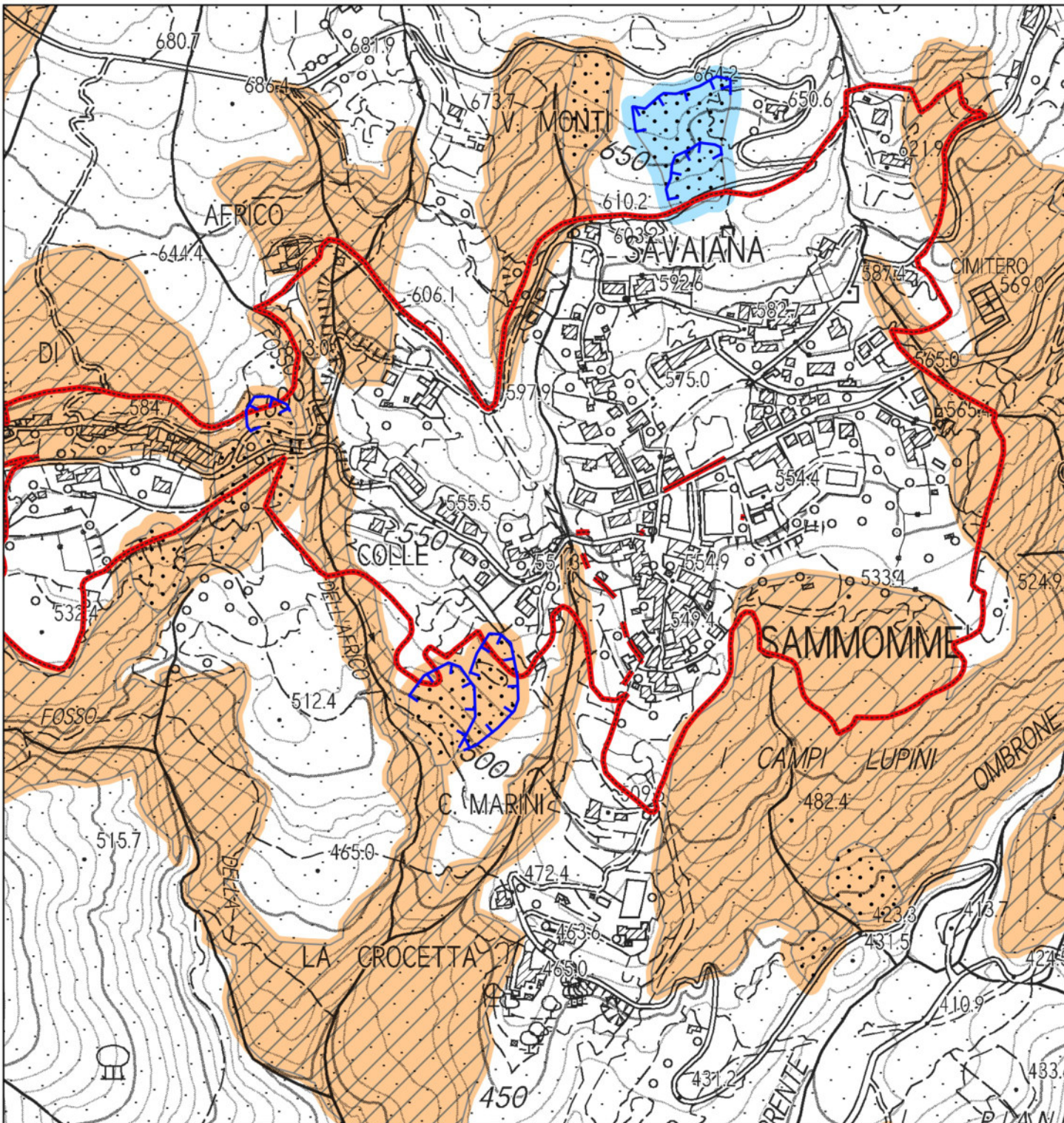


**COMUNE DI PISTOIA
LOCALITÀ PRACCHIA
SCALA 1:5.000**







-  Frana di scorrimento attiva
-  Frana di scorrimento quiescente
-  Area soggetta a franosità diffusa attiva
-  Area soggetta a franosità diffusa quiescente
-  Area di evoluzione delle forme di dissesto attive
-  Area di evoluzione delle forme di dissesto quiescenti
-  Corona di frana
-  Territorio urbanizzato

I corpi di frana includono la zona di distacco, la zona di scorrimento e la zona di accumulo





**COMUNE DI PISTOIA
LOCALITÀ SAMMOMMÈ
SCALA 1:5.000**

-  Frana di scorrimento attiva
-  Frana di scorrimento quiescente
-  Area soggetta a franosità diffusa attiva
-  Area soggetta a franosità diffusa quiescente
-  Area di evoluzione delle forme di dissesto attive
-  Area di evoluzione delle forme di dissesto quiescenti

 Corona di frana

 Territorio urbanizzato

I corpi di frana includono la zona di distacco, la zona di scorrimento e la zona di accumulo

