

REGIONE LIGURIA



Autorità di Bacino Distrettuale
dell'Appennino Settentrionale

TORRENTE LAVAGNA

PIANO DI BACINO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO



RELAZIONE GENERALE

PRIMA APPROVAZIONE	Delibera del Consiglio Provinciale di Genova n. 29 del 09/04/2002
ULTIMA MODIFICA DELL'ELABORATO	Decreto del Direttore Generale n. 2461 del 22/04/2020
ENTRATA IN VIGORE	BURL n. 20 del 13/05/2020 – parte II

SOMMARIO

1	QUADRO GENERALE DI RIFERIMENTO	6
1.1	Quadro istituzionale e normativo di riferimento	6
1.1	Dati utilizzati	8
2	CARATTERISTICHE DEL BACINO	9
2.1	Geografia	9
2.2	Geologia	10
2.3	Geomorfologia	13
2.3.1	Acclività	15
2.3.2	Esposizione dei versanti	18
2.3.3	Caratterizzazione delle coperture	19
2.3.4	Frane attive e franosità diffusa	20
2.3.5	Altri fenomeni gravitativi	22
2.3.6	Alluvioni e terrazzi fluviali	22
2.3.7	Aree in erosione	23
2.3.8	Cave e discariche	23
2.3.9	Riporti artificiali	27
2.3.10	Riordino del Vincolo Idrogeologico	27
2.4	Idrogeologia	27
2.4.1	Pozzi, sorgenti, derivazioni	29
2.5	Uso del suolo	29
2.6	Descrizione della rete idrografica	36
2.7	Idrologia di piena	39
3	PROBLEMATICHE E CRITICITÀ DEL BACINO	86
3.1	Premessa	86
3.2	Problematiche di tipo geomorfologico (Suscettività al dissesto dei versanti)	86
3.2.1	Metodologia applicata	88
3.2.2	Sintesi delle criticità geomorfologiche	94
3.3	Problematiche di tipo idraulico (Verifiche idrauliche e Aree inondabili)	99
3.3.1	Verifiche idrauliche	100
3.3.2	Sintesi delle criticità idrauliche	105
3.3.3	Fascia di riassetto fluviale	127
3.4	Considerazioni sul trasporto solido	127
4	RISCHIO IDROGEOLOGICO	130
4.1	Premessa	130
4.2	Elementi a rischio	131
4.3	Determinazione del rischio idrogeologico	131
4.3.1	Rischio geomorfologico	132
4.3.2	Rischio idraulico	132

PREMESSA

I Piani di bacino, secondo quanto previsto dalla legge regionale n. 9/93, nascono per integrare tutte le conoscenze sul bacino, anche al fine di affrontare in modo multidisciplinare le problematiche idrauliche, geologiche, ambientali, urbanistiche e legate all'uso del territorio.

La struttura completa del Piano di bacino, così come previsto dalle leggi vigenti, tuttavia rende necessari studi molto complessi ed onerosi, non ottenibili in tempi brevi, rischiando così di ritardare l'efficacia dello strumento stesso anche per temi particolarmente urgenti.

La decisione, presa dall'Amministrazione Provinciale è stata quindi quella di predisporre i Piani di bacino secondo stralci relativi a settori funzionali che devono in ogni caso costituire fasi sequenziali ed interrelate con i contenuti generali dei piani, come previsto dalla legge n. 493/93, onde dotare tempestivamente i soggetti competenti di efficaci strumenti di governo del territorio per fronteggiare adeguatamente le emergenze cui la Provincia di Genova è frequentemente assoggettata.

Tali stralci, anche secondo quanto suggerito nei «Contenuti generali e finalità» dei Criteri per l'elaborazione dei Piani di Bacino ed in considerazione degli ulteriori criteri più recenti, redatti dall'Autorità di Bacino di rilievo regionale, riguardano in particolare i seguenti temi:

-  *rischio idrogeologico,*
-  *situazione geologico - geomorfologica,*
-  *revisione dei vincoli*
-  *definizione delle fasce di inondabilità*

Per la predisposizione del Piano di bacino stralcio del torrente Lavagna, nella sua prima redazione da parte del Comitato Tecnico Provinciale approvata con D.C.P. n. 29/2002 e s.m.i., si sono resi necessari studi propedeutici generali relativi alle caratteristiche del territorio, alle problematiche e criticità del bacino, che sono stati affidati in successione temporale a due gruppi interdisciplinari di professionisti (in ogni gruppo è stata richiesta la presenza di almeno un geologo, un ingegnere idraulico, un forestale, un agronomo, un naturalista) al fine di definire, attraverso specifiche cartografie e relazioni, il quadro conoscitivo completo ed organico su cui basare le scelte generali in rapporto a tutte le azioni pianificatorie gestionali.

Successivamente il Comitato Tecnico Provinciale, previa la validazione dei dati effettuata a campione e l'integrazione del materiale elaborato da parte di alcuni giovani neolaureati e diplomati assunti a tempo determinato mediante lo strumento del Cantiere Scuola-Lavoro, ha elaborato le linee della pianificazione, comprensive di una sintesi degli aspetti economici e finanziari, ha analizzato i canali di finanziamento possibili e stimato la loro prevedibile alimentazione, ha definito le modalità di attuazione del piano con norme, vincoli e direttive finalizzate a regolamentare le azioni ed i comportamenti dei soggetti operanti nel bacino, ha formulato i programmi di attuazione del Piano stralcio.

La scelta dell'Amministrazione Provinciale di attuare il percorso di formazione del Piano di bacino del torrente Lavagna attraverso stralci trova evidenti motivazioni nelle diverse, complesse ed articolate criticità che in bacini come questo, presentano un'insieme di problemi strettamente intersecati per alcune significative connotazioni territoriali:

- *la dimensione piuttosto estesa del bacino idrografico (160 kmq) che gravita però su un contesto urbanizzato localizzato in maniera abbastanza puntuale sui versanti e*

con un fondovalle in forte espansione economica con evidenti ricadute sull'edificato e sull'edificabile;

- la presenza di consistenti attività di cava e di discariche di materiale inerte derivante dall'estrazione e dalla lavorazione dell'ardesia quale elemento importante nella morfologia del bacino;*
- un complesso di versanti che, anche se non urbanizzati, hanno subito intense modificazioni antropiche;*
- la forte espansione del fondovalle che ha creato un abbandono dei versanti e rischia un processo di "scollamento" con la parte medio-alta del bacino;*
- la presenza di rotture di pendio di origine antropica coincidenti in massima parte con le pareti rocciose affioranti in seguito a tagli stradali;*
- la presenza di grossi centri abitati in corrispondenza di estesi accumuli detritici, probabilmente dovuta ad una maggiore propensione dei suoli all'agricoltura e alla loro minore acclività;*
- la presenza di fenomeni erosivi nelle testate vallive dove la copertura vegetale risulta ridotta;*
- l'esistenza di alcune specifiche criticità idrauliche lungo il tratto vallivo per l'insufficienza dell'alveo di morbida a contenere anche gli eventi di piena più significativi dando luogo all'inondazione delle aree golenali su tutte le sponde;*
- l'inadeguatezza di circa il 35% dei manufatti interessanti l'alveo del Lavagna e la quasi totalità di quelli interessanti gli affluenti.*

L'elaborazione del presente piano di bacino stralcio adempie a quanto indicato nel D.P.R. del 18/7/1995 "Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento concernente i criteri per la redazione dei piani di bacino" ed è intesa ad adeguarsi a quanto stabilito dall'art. 8 della legge regionale n. 9/93 che, in conformità alla legge n. 183/89, agli artt. 2 e 15 detta le attività programmatiche e di pianificazione relative ai piani di bacino idrografico.

Si evidenzia che la redazione degli studi propedeutici relativi al bacino del torrente Lavagna è stata completata in epoca antecedente all'emanazione delle Raccomandazioni e dei criteri dell'Autorità di bacino regionale.

A seguito del contributo istruttorio espresso dal Comitato Tecnico di Bacino nella seduta del 08/11/2012 e trasmesso dall'Autorità di bacino regionale con nota n. PG/2012/159116 del 12/11/2012, si è provveduto ad una revisione complessiva del Piano sia a livello normativo che cartografico, al fine di omogeneizzare la metodologia di redazione della Pianificazione di bacino su tutto il territorio provinciale, andando nell'ottica di un "Piano di bacino per l'assetto idrogeologico", riallineando quindi i contenuti del Piano di bacino, approvato con DCP 62/2001, ai criteri approvati a partire dal 2001 da parte dell'Autorità di bacino regionale.

Il Piano di Bacino stralcio del torrente Lavagna approvato con D.C.P. n. 29/2002 è stato redatto dall'Amministrazione Provinciale che si è avvalsa del parere del *Comitato Tecnico Provinciale* composto da: Ing. Paolo TIZZONI – *Presidente* - Dr. Marino TRIMBOLI e Dr. Michele BONFANTE - *esperti in materie geologiche* - Prof. Paolo BARTOLINI- *esperto in materia di ingegneria idraulica* - Dr. Ilda VAGGE - *esperta in discipline naturalistiche* - Dr. Mauro LOMBARDI - *Provincia di Genova* - Arch. Pierpaolo TOMIOLO - *Provincia di Genova* - Dr. Claudio CELLA – *C.M. Valli Aveto-Graveglia-Sturla* - Arch. Adriano BIAMONTI - *C.M. Argentea* - Geom. Mauro VIGO - *C.M. Alta Val Polcevera* - Geom. Sergio PIERGALLINI - *C.M.*

Alta Valtrebbia - Geom. Angelo ALISMO - C.M. Valle Stura - Geom. Giovanni GARAVENTA - C.M. Fontanabuona - Dr. Pierluigi TIMOSSI - C.M. Alta Valle Scrivia - P.A. Aldo MASSA - C.M. Val Petronio - Sig.ra Tiziana BRIZZI e Dr. Valeria FLORIS – segreteria - Ing. Cinzia ROSSI - Rappresentante della Regione Liguria, senza diritto di voto.

Gli studi propedeutici al Piano sono stati eseguiti dal Gruppo interdisciplinare composto da: *Dott. Ing. Marco CREMONINI, coadiuvato da Dott. Ing. Paola RENTOCCHINI - Dott. Ing. Paolo BURLANDO - Dott. Ing. Marco MANCINI - Geom. Salvatore GARIBALDI - P.I. Andrea MARICONE - Dott. Agr. Riccardo RINOSI - Dott. For. Ferdinando MUSARRA - Dott. Geol. Roberto PEDONE, coadiuvato da Dott. Geol. Luigi TORRIANO - Dott. Geol. Marcello BRANCUCCI - Dott. Arch. Paolo RIGAMONTI, coadiuvato da Dott. Arch. Camilla LOI - Dott. Nat. Angela ROLLANDO, coadiuvato da Dott. Nat. Annalisa CEVASCO.*

Il Comitato è stato supportato dal Servizio Pianificazione – Staff Programmazione e Gestione Piani di Bacino dell'Area 06 dell'Amministrazione Provinciale, composto dal Dott. Aurelio GIUFFRÉ, dall'Arch. Clara STERLICK, dalla Dott. Geol. Maria FERRANDO, dalla Dott. Geol. Lorenza CASALE e dall'Ing. Emanuela MARAGLINO, coadiuvati a tempo parziale dall'Ing. Stefano CIANELLI, dall'Ing. Vincenzo BENEVENTANO, dal Geom. Fabrizio BRICHETTO e dal Geom. Adriano GANGEMI.

Hanno collaborato alla redazione del Piano il Dott. Geol. Alessandro TOMASELLI e la Dott.ssa Geol. Francesca BATTINI, consulenti Geologi dell'Amministrazione Provinciale, l'Arch. Anna COLOMBO, consulente esperta in Sistemi GIS, l'Ing. Sara DELUCCHI, consulente esperta in Ingegneria idraulica.

Per l'opera di validazione a campione degli studi propedeutici sono stati utilizzati i seguenti laureati e diplomati assunti a tempo determinato mediante lo strumento dei Cantieri Scuola-Lavoro: Dott. Geol. Daniele BOTTARO, Dott. Geol. Barbara MUSANTE, Dott. Geol. Alessandro SACCHINI, Dott. Nat. Andrea BALDI, Dott. For. Stefano MORASSUTTI, Geom. Alberto BASSO, Geom. Enrico RIDELLA, mentre il Dott. Geol. Alessandro MAIFREDI ha collaborato nella veste di obiettore in Servizio civile.

Il Piano di Bacino stralcio è stato adeguato, integrato, aggiornato, completato ed omogeneizzato dall'Amministrazione Provinciale di Genova che si è avvalsa di:

A) Personale interno Ufficio Pianificazione di Bacino e Protezione Civile:

- Dott. Mauro LOMBARDI – Dott. Arch. Andrea PASETTI
- Dott. Biol. Maria TRAVERSO - Dott. Geol. Aurelio GIUFFRÉ
- Dott. Geol. Maria FERRANDO - Dott. Paolo SPOTORNO

B) Collaboratori assunti a tempo determinato

Dott. Ing. Elisa CIRRI, Dott. Geol. Simona FUIANO, Dott. Biol. Chiara BELOTTI, Dott. For. Alessio PERCIVALE, Dott. Arch. Barbara GARRONE, Dott. Arch. Mariangela PERSANO, Dott. Arch. Milena FERRANDO, Geom. Elisa MARANGONI.

La legge n. 56 del 7 aprile 2014 "Disposizioni sulle città metropolitane, sulle province, sulle unioni e fusioni di comuni"(c.d. legge Delrio), in vigore dall'8 aprile 2014, prevede che a partire dal 1° gennaio 2015 la Città Metropolitana di Genova subentri alla Provincia di Genova e ne eserciti le funzioni. Il territorio della Città metropolitana coincide con quello della provincia omonima.

Gli organi della Città metropolitana sono il sindaco metropolitano, il consiglio metropolitano e la conferenza metropolitana. Il sindaco metropolitano è di diritto il sindaco del comune capoluogo.

La presente edizione del Piano, predisposta ai sensi del D.L. 180/98 e s.m.i. su richiesta dell'Autorità di Bacino regionale, è stata aggiornata dall'Ufficio pianificazione territoriale della Città Metropolitana di Genova -Direzione 3- con la supervisione del Direttore di Direzione.

Il 1° luglio 2015 entra in vigore la L.R. n.15 del 10 aprile 2015 che ridefinisce il quadro delle competenze ed attribuisce alla Regione le funzioni in materia di difesa del suolo
Pertanto, il presente Piano, è stato adottato con DCM n. 27 del 25/06/2015 dalla Città Metropolitana di Genova, subentrata alla Provincia ai sensi della legge n.56/2014, e viene approvato dal Consiglio regionale, in qualità di organo dell'Autorità di bacino ai sensi della l.r.n.15/2015.

1 QUADRO GENERALE DI RIFERIMENTO

1.1 Quadro istituzionale e normativo di riferimento

Il quadro di riferimento generale per la formazione del piano di bacino è rappresentato dalle norme contenute nella legge quadro 18 maggio 1989, n. 183 e più in generale da tutte le normative che definiscono l'ordinamento istituzionale, le attribuzioni di competenza e le relative responsabilità delle istituzioni rappresentate nelle Autorità di Bacino.

In particolare, la legge 183/1989 "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo" definisce finalità, strumenti e modalità dell'azione della pubblica amministrazione in materia di difesa del suolo, introducendo importanti innovazioni nella normativa vigente e soprattutto nella filosofia con cui affrontare in maniera più integrata ed organica il complessivo delle azioni intese a pianificare "il bacino".

Inoltre, ai sensi anche della L.R. 36/97, il Piano di bacino, così come i suoi stralci funzionali, vincola, nelle indicazioni di carattere prescrittivo, la pianificazione territoriale di livello regionale, provinciale e comunale con effetto di integrazione della stessa e, in caso di contrasto, di prevalenza su di essa.

Per gli aspetti connessi alla pianificazione di bacino di rilievo regionale, il primo riferimento, in ordine temporale, è costituito dalla legge regionale 28 gennaio 1993, n. 9, di cui alcuni articoli sono stati abrogati dalla legge regionale 21 giugno 1999, n. 18.

L'assetto dell'Autorità di bacino di rilievo regionale istituito con la L.R. 9/93 è stato modificato dapprima con la L.R. 18/99 e poi, più recentemente, dalla legge regionale 4 dicembre 2009 n. 58 che ha di fatto soppresso i Comitati tecnici preesistenti istituendo un unico Comitato tecnico di bacino e nuovi percorsi e tempistiche per l'approvazione dei piani e delle loro varianti.

Tali criteri sono peraltro stati integrati nel tempo e formano oggi un mosaico complesso di determinazioni volte ad omogeneizzare e migliorare l'attività pianificatoria in campo regionale.

Di questo corso di leggi occorre, in questa fase della pianificazione di bacino, sottolineare la legge 4 dicembre 1993, n. 493 ed in particolare l'art. 12 che integra l'art.17 della L.n.183/1989 con il comma 6 ter che recita:

«I Piani di Bacino idrografico possono essere redatti ed approvati anche per sottobacini o per stralci relativi a settori funzionali che in ogni caso devono costituire fasi sequenziali ed interrelate rispetto ai contenuti di cui al comma 3» (richiama l'art. 17 della legge 18 maggio 1989, n. 183).

Risulta necessario infine richiamare il Dlgs. n. 152/2006 che ha rivisto le norme in materia ambientale.

Di seguito, viene riportata la tabella in cui sono indicate le principali leggi relative alla pianificazione di bacino o comunque ad essa collegate.

Riferimenti normativi attinenti la pianificazione di bacino

R.D. 523/1904	Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie
D. lgs. lgt. 1019/1918	Modificazioni e aggiunte al D.Lgt. 4/10/1917 n. 1679, recante provvedimenti per opere pubbliche a favore di varie province del regno
R.D.L. 3267/1923	Riordinamento e riforma della legislazione in materia di boschi e di terreni montani
Legge 319/1976	Norme per la tutela delle acque dall'inquinamento
D.P.R. 236/1988	Attuazione della direttiva CEE n. 80/778 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano, ai sensi dell'rt. 15 della legge 16/4/1987, n. 183
Legge 183/1989	Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo
D.P.C.M. 23/3/1990	Atto di indirizzo e coordinamento ai fini della elaborazione e della adozione degli schemi previsionali e programmatici di cui all'art. 31 della legge 18/5/1989 n. 183, recante norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo
Legge 142/1990	Riforma delle autonomie locali
Legge 253/1990	Disposizioni integrative alla legge 183/1989, recante norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo
L.R. 9/1993	Organizzazione regionale della difesa del suolo in applicazione della L. 18/5/1989 n. 183
Legge 236/1993	Interventi urgenti a sostegno dell'occupazione
Decreto legislativo 275/1993	Riordino in materia di concessioni di acque pubbliche
Legge 493/1993	Disposizioni per l'accelerazione degli investimenti ed il sostegno dell'occupazione e per la semplificazione dei procedimenti in materia edilizia
Legge 36/1994	Disposizioni in materia di risorse idriche
Legge 37/1994	Norme per la tutela ambientale delle aree demaniali dei fiumi, dei torrenti, dei laghi e delle altre acque pubbliche
L.R. 45/1994	Norme in materia di sicurezza urbana da rischi idrogeologici
Legge 97/1994	Nuove disposizioni per le zone montane
Legge 22/1995	Interventi urgenti a favore delle zone colpite dalle eccezionali avversità atmosferiche e dagli eventi alluvionali nella prima decade del mese di novembre 1994
Legge 265/1995	Modifiche e conversione del D.L. 154 Aumento di alcune provvidenze del D.L. 691 ed ulteriori correzioni al D.L. 646
D.P.R. 18/7/1995	Criteri per la redazione dei Piani di bacino, atto di indirizzo e coordinamento
L.R. 46/1996	Norme finanziarie in materia di difesa del suolo ed ulteriori modifiche alla L.R. 28/1/1993 n. 9 (Organizzazione regionale della difesa del suolo in applicazione della L. 18/5/1989 n. 183). Modifiche alla L.R. 16/4/1984 n. 22 (Legge forestale regionale)
L.R. 36/1997	Legge urbanistica regionale
Legge 267/1998	Misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico ed a favore delle zone colpite da disastri franosi nella regione Campania
Decreto legislativo 112/1998	art. 57 – Pianificazione territoriale di Coordinamento e pianificazione di settore, art. 87 – Approvazione Piani di bacino
L.R. 4/1999	Norme di foreste e di assetto idrogeologico
L.R. 18/1999	Adeguamento delle discipline e conferimento delle funzioni agli Enti locali in materia di ambiente, difesa del suolo ed energia
Legge 365/2000	Interventi urgenti per le aree a rischio idrogeologico molto elevato ed in materia di protezione civile, nonché a favore delle zone della regione Calabria danneggiate dalle calamità idrogeologiche di settembre ed ottobre 2000
Decreto legislativo 267/2000	Testo unico delle leggi sull'ordinamento degli enti locali.
D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380	Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia
Decreto legislativo 152/2006	Norme in materia ambientale.
L.R. 14/2006	Regime transitorio per l'esercizio delle funzioni delle Autorità di bacino di rilievo regionale ed interregionale.
L.R. 20/2006	Nuovo ordinamento dell'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente Ligure e riorganizzazione delle attività e degli organismi di pianificazione, programmazione, gestione e controllo in campo ambientale.
D.M. 14-01-2008	Norme tecniche per le costruzioni.
L.R. 11/2015	Modifiche alla legge regionale 4 settembre 1997, n. 36 (Legge urbanistica regionale)
L.R. 15/2015	Modifiche all'assetto dell'Autorità di bacino di rilievo regionale

Un impulso alla pianificazione di bacino è stato fornito dal decreto legge 11 giugno 1998 n. 180, convertito, con modificazioni, nella legge 3 agosto 1998 n. 267 "Misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico ed in favore delle zone colpite da disastri franosi nella regione Campania", modificato dal D.L. 132/99, convertito, con modifiche, dalla L. 262/99.

I criteri relativi agli adempimenti di cui al comma 1 dell'art. 1 del succitato D.L. 180/98, sono stati forniti, come previsto dal comma 2 dell'art. 2 del D.L. 180/98, nell' "Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2'", pubblicato sulla G.U. del 5.1.99.

Le attività previste dal DL 180/98 relative all'individuazione e alla perimetrazione delle aree a rischio di inondazione e a rischio di frana dovranno essere articolate nelle seguenti tre fasi:

- 1) *individuazione aree soggette a rischio idrogeologico;*
- 2) *perimetrazione, valutazione dei livelli di rischio e definizione misure di salvaguardia;*
- 3) *programmazione della mitigazione del rischio.*

Il D.L. 180/98, ha inteso quindi, dichiaratamente dare un'accelerazione agli adempimenti della L. 183/89, soprattutto a riguardo dell'individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico (inteso come inondazione e frana).

Trattandosi di uno stralcio funzionale non esaurisce chiaramente tutte le tematiche previste dal piano di bacino completo, ma rappresenta una parte del Piano stralcio per l'assetto idrogeologico del quale risulterà quindi parte integrante, inteso come Piano di bacino completo.

Esso viene quindi approvato con le procedure ordinarie previste dalla L. R. 15/2015 e s.m.i..

Nell'ambito del presente Piano stralcio per l'assetto idrogeologico, sono stati seguiti le raccomandazioni, i criteri e gli indirizzi emanati dall'Autorità di bacino regionale a partire dal 2001.

1.1 Dati utilizzati

Per la redazione del Piano sono stati utilizzati innanzi tutto i documenti testuali e cartografici relativi al Piano approvato con DCP 29/2002, successivamente le foto aeree in dotazione all'Amministrazione Provinciale ed alla Regione Liguria, predisposte dai Comuni per la redazione dei rispettivi Strumenti Urbanistici Generali, i dati interferometrici satellitari, la Cartografia del progetto CARG, l'Atlante dei Centri Abitati Instabili della Liguria, studi e progetti di Amministrazioni Pubbliche, Aziende e di privati insistenti sul territorio in esame.

La base cartografica utilizzata è la carta tecnica regionale in scala 1:5.000 e scala 1:10.000 (in formato raster e vettoriale), che riporta il bacino nei fogli n° 231030, 231040, 232010, 214100, 214110, 214120, 214140, 214150 e 214160.

2 CARATTERISTICHE DEL BACINO



Lo studio è stato finalizzato all'individuazione dei lineamenti geolitologici, geomorfologici, idrogeologici ed idraulici del bacino del Torrente Lavagna.

L'individuazione dei diversi fattori geologici, geomorfologici e dei parametri morfometrici è stata attuata riferendosi agli usuali standard di indagine geologica e geomorfologica.

In particolare, in una prima fase di analisi, si è svolta una ricerca documentale utilizzata quale base informativa. A ciò ha fatto seguito un'indagine diretta sul territorio effettuata sia mediante rilievi di campagna, sia utilizzando

tecniche di telerilevamento su fotografie aeree.

In questa fase sono stati individuati e descritti tutti quei fattori ritenuti rilevanti ai fini della valutazione delle condizioni di stabilità dei pendii ed acquisibili, ovvero cartografabili per aree vaste.

In particolare, i parametri rilevati in modo puntuale (per campione), ovvero tutti quegli elementi che presentano variazioni a scala locale, sono stati rappresentati su area vasta mediando il comportamento e cioè individuandone l'andamento prevalente.

Infine, in una terza fase operativa di lavoro, sono state effettuate le elaborazioni dei dati acquisiti finalizzate alla produzione delle sintesi finali.

La documentazione prodotta costituisce elemento base di conoscenza finalizzato alla programmazione di piccola e media scala (scala di bacino). Ogni applicazione dei risultati ottenuti ad areali più ristretti, ovvero a scala puntuale, attuata senza opportuni controlli e verifiche, potrà ingenerare valutazioni erronee non coerenti con la scala di riferimento.

2.1 Geografia

DATI GENERALI SUL BACINO

- *Superficie:* 160 Km²
- *Aree interessate:* Comuni di Bargagli, Lumarzo, Neirone, Uscio, Tribogna, Moconesi, Lorsica, Favale di Malvaro, Orero, Coreglia Ligure, San Colombano Certenoli, Carasco, Leivi, Cicagna
- *Sorgenti del torrente:* Monte Lavagnola 1132 m s.l.m.
- *Lunghezza asta principale:* 31 km
- *Quota massima del bacino:* Monte Ramaceto 1345 m
- *Superficie boscata:* 75% della superficie del bacino
- *Superficie agricola:* 15% della superficie del bacino
- *Tessuto urbano:* 3,7% della superficie del bacino
- *Pendenza dei versanti:* 10% - 75%
- *Quota spartiacque:* sinistra 1200 m – destra 800 m
- *Clima:* sublitoraneo con temperatura media annua compresa tra 12° C e 14° C

Il Torrente Lavagna nasce da un gruppo di sorgenti situate sulle pendici sud del Monte Lavagnola (1132 metri) e scorre incassato fra le rocce fino alla confluenza, sulla destra

idrografica, con il rio di Vallebuona in una valle orientata NE-SW.

Prosegue poi piegando leggermente verso SE fino a Ferriere, da dove l'andamento del suo corso prende decisamente la direzione NW-SE, che mantiene fino alla confluenza, sulla sinistra orografica, con il Torrente Sturla.

A partire dall'abitato di Gattorna iniziano, alternate a tratti con sponde rocciose, le zone alluvionali pianeggianti.

Nel suo primo tratto, dalle sorgenti alla località Ferriere, il Torrente Lavagna non riceve tributari importanti ad esclusione del Rio di Vallebuona e del Rio delle Ferriere, ambedue sulla destra orografica.

Nel secondo tratto, che rappresenta l'asta principale del torrente, esso riceve sempre sulla destra orografica, il Rio di Lumarzo, il Torrente Litteglia, il Rio delle Bolle, il Rio Pendola, il Fosso di Roncazzi, il Fosso di Camposasco ed altri numerosi corsi d'acqua di minore importanza.

Il bacino del torrente Lavagna presenta l'insolita caratteristica, per un corso d'acqua ubicato in provincia di Genova, di essere disposto in direzione Est-Ovest e di avere una forma asimmetrica decisamente sbilanciata sul versante sinistro nettamente più ramificato del destro.

Gli affluenti principali del Torrente Lavagna sono però tutti situati in sponda orografica sinistra, dove il Torrente Lavagna riceve, da monte verso valle, come principali affluenti il Rio d'Urri, il Torrente Neirone, il Canale di Moconesi, il Torrente Malvaro e il Canale d'Isolona.

Nei pressi di Carasco nel Torrente Lavagna confluisce il Torrente Sturla formando il fiume Entella (come dal Primo Elenco delle Acque Pubbliche della Provincia di Genova): la chiusura del bacino per il presente studio è localizzata immediatamente a monte di tale confluenza, per un'estensione complessiva di circa 160 chilometri quadrati di bacino.

AFFLUENTI PRINCIPALI

SPONDA DESTRA	SPONDA SINISTRA
Rio di Marsiglia, Rio Rosso, Rio Litteglia, Rio Ceriallo, Rio Pendola, Fosso di Coreglia, Fosso di Canevale, Fosso di Vallefredda, Fosso di Camposasco, Rio Scaggia	Torrente D'Urri, Torrente Neirone, Torrente Malvaro, Canale d'Isolona, Fosso Barbarasco, Fosso di Camporile, Fosso d'Arena, Rio di Valle Mandria

2.2 Geologia

Per la redazione della Carta geolitologica le simbologie e le legende utilizzate sono quelle previste dalla Raccomandazione 3 bis – 1999 elaborata dell'Autorità di Bacino di Rilievo Regionale della Liguria.

La valle del torrente Lavagna è impostata nella formazione geologica di Val Lavagna costituita da alternanze di argilliti scistose grigio-nerastre. Nella parte media della valle, in particolare nel versante sinistro, fra le località di Moconesi e San Colombano Certenoli, e nel versante destro fra il Passo della Spinarola, Coreglia e Villa Oneto, è stata distinta la falda delle Ardesie del Monte Verzi, rappresentata da alternanze di marne scure scistose, in banchi di alcuni metri, con arenarie ed argilloscisti. Lo spartiacque sinistro, caratterizzato da rilievi generalmente più alti, presenta in corrispondenza delle cime più elevate (Monte Ramaceto,

Monte Caucaso, Monte Carpena) affioramenti di arenarie alternate a livelli di argilloscisti, appartenenti alla formazione delle Arenarie di Monte Zatta. Lo spartiacque destro è invece caratterizzato, alle quote alte, da affioramenti calcareo-marnosi della formazione dei Calcari di Monte Antola. Completano il quadro geologico gli affioramenti della formazione delle Argille a Palombini nella parte bassa della valle ed un lembo del termine arenaceo della Formazione della Val Lavagna nei pressi del Monte Ramaceto.

Le formazioni, o litologie, presenti sono disposte stratigraficamente, dalla più antica alla più recente, secondo la seguente successione:

- Argille a Palombini del Lago di Giacopiane;
- Formazione di Ronco;
- Formazione di Val Lavagna, comprendente il membro delle Ardesie di Monte Verzi;
- Arenarie di Monte Zatta;
- Formazione dei Calcari di Monte Antola;

Argille a Palombini del Lago di Giacopiane [ag-GIC]

(Cretaceo inf.) (Aptiano ? - Hauteriviano ?): alternanze di argilliti grigio-scure, scagliettate, e di calcarei silicei grigio-chiari; interstrati di biocalcareni gradate, soprattutto nella parte alta della formazione. Nel territorio in esame la formazione affiora nel tratto terminale del Torrente Lavagna, lungo la sua sponda destra, in località La Pozza, nel comune di San Colombano Certenoli in posizione di nucleo più antico dell'anticlinale della Val Fontanabuona, messo a nudo dall'erosione.

Formazione di Ronco [as-RON]

(Cenomaniano - Albiano): calcari marnosi, marne calcaree e marne grigie, alternate ad arenarie, calcareniti ed argilliti scistose. Sono presenti vasti affioramenti nel tratto iniziale del Torrente Lavagna, lungo la sua sponda destra, in prossimità del Passo della Scoffera.

Formazione della Val Lavagna [ag-LVG]

(Cretaceo sup. - Albiano): argilliti scistose, più o meno siltose, per lo più grigio scure o nerastre, a volte varicolori, alternate ad arenarie e calcareniti fini con ossido di ferro e di manganese diffusi; intercalazioni di calcari marnosi, calcari silicei, marne plumbee scistose (ardesie); scisti argillosi e arenaceo-marnosi zonati; localmente sono state distinte, come Membro delle Ardesie di Monte Verzi [m-LVG] (Albiano - Cenomaniano): le marne scistose plumbee, in banchi di alcuni metri, alternati a strati di argilliti fogliettate. Si tratta della formazione più diffusa nell'ambito del bacino, ed affiora con continuità lungo l'intero corso della vallata, a cavallo dell'asta fluviale principale.

Arenarie di Monte Zatta [ar-ZAT]

(Paleocene - Cretaceo sup.): arenarie micacee grigio-chiare, in strati e banchi gradati, con intercalazioni, soprattutto verso la base, di siltiti, marne ed argilliti; rari e sottili strati calcarei microdetritici. La formazione affiora con continuità nei tratti più elevati del versante sinistro della Val Lavagna, con affioramenti caratteristici lungo i crinali del Monte Caucaso e del Monte Ramaceto.

Calcari di Monte Antola [cm-FMA]

(Paleocene - Turoniano): calcari marnosi, marne calcaree e marne argillose, in sequenze ritmicamente ripetute, talora a base calcarenitica; argilloscisti e arenarie straterellate, marnoscisti e calcari marnosi di tipo ardesiaco. La formazione affiora con continuità nei tratti più elevati del versante destro della Val Lavagna, con affioramenti caratteristici lungo i crinali del Monte Becco e del Monte Manico del Lume.

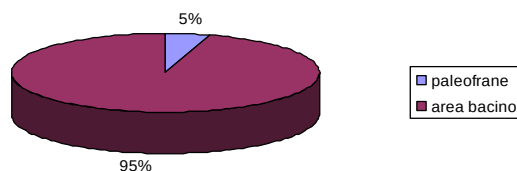
Le **coperture detritiche (dt)** comprendono anche gli accumuli di antiche paleofrane. In Val Lavagna, come in altre valli della Liguria, ai più comuni effetti del processo di peneplanizzazione per alterazione ed erosione dei versanti (agevolate dall'acclività e dalle particolari caratteristiche di erodibilità delle formazioni presenti per litologia e fratturazione, quali le coltri eluviali e colluviali precedentemente descritte) si aggiungono gli effetti di instabilità dei versanti prodotti da un'intensa dinamica quaternaria connessa ai sollevamenti tettonici dell'area, allo sviluppo di lineazioni tettoniche ed alle variazioni del livello di base dei fiumi legati all'eustatismo di carattere glaciale (Brancucci et al., 1985; Fanucci e Nosengo, 1979). Questi effetti sono rappresentati dagli accumuli di frana antica o paleofrana rilevati in tutto l'ambito territoriale di riferimento, sia nella parte alta e nella parte terminale della valle, sia alle quote alte ed alle quote basse dei versanti. Le dimensioni variano per estensione e per potenza, da quelle di ridotta entità come le paleofrane osservate a Piana e Fuela a quelle di notevoli dimensioni e storicamente riconosciute dei paesi di Lezzaruole e Neirone.

Come per le coltri eluviali e colluviali, la composizione litologica degli accumuli di frana antica o paleofrana è determinata dalla formazione o dalla litologia coinvolta. Data la maggiore distribuzione del litotipo argilloscistoso, prevalgono le componenti fini. Frazioni più grossolane si riscontrano negli accumuli di frane antiche che hanno interessato rocce maggiormente massive, come i termini arenacei della Formazione della Val Lavagna, i calcari marnosi delle formazioni dei Calcari di Monte Antola, di Ronco e le arenarie della Formazione di Monte Zatta. Rispetto alle coltri eluviali e colluviali, tuttavia è presente una maggiore percentuale della componente grossolana e di blocchi, tenuto conto della dinamica del fenomeno generativo.

In totale la superficie occupata da accumuli di paleofrana è pari a circa 4.2 chilometri quadrati, equivalenti a meno dell'1 % della superficie totale del bacino.

Gli eventi di paleofrana censiti in tutto il bacino sono 91 in totale, di questi 82 sono da considerarsi quiescenti, mentre in 9 si sono evidenziati indizi di rimovimentazione, parziale o totale.

Eventi di Paleofrana Bacino T. Lavagna



Nel bacino del Lavagna per quel che riguarda i **sedimenti alluvionali** sono state distinte e cartografate, le seguenti tipologie:

- Le **alluvioni mobili (am)** che sono formate da materiale generalmente grossolano e corrispondono alle zone di alveo attuale ed attivo, ampliato dalle piene e dalle divagazioni stagionali dei corsi d'acqua. Lungo l'alveo del Torrente Lavagna, le alluvioni attuali si ritrovano con continuità a partire da località Terrarossa.

- Le **alluvioni terrazzate recenti (ar)**, che rappresentano le aree pianeggianti lungo il corso del Torrente Lavagna, con ampio sviluppo nel tratto terminale, ed i fondovalli dei principali affluenti, come il Neirone ed il Malvaro. Detti terrazzi, rilevati qualche metro rispetto l'alveo attuale, sono ampiamente antropizzati rivelandosi favorevoli per gli insediamenti e l'agricoltura nonostante possano essere interessate dalle piene dei corsi d'acqua. Queste aree sono costituite in prevalenza da materiale argillo-sabbioso e sabbioso-ghiaioso con prevalente frazione fine; localmente sono presenti concentrazioni di ghiaie anche grossolane disposte in lenti ed in orizzonti che possiedono buone caratteristiche come acquiferi. Queste alluvioni caratterizzano il fondovalle a partire da Ferrada di Moconesi fino alla confluenza del torrente Sturla. Depositi recenti si rilevano anche lungo il corso terminale dei torrenti Moconesi, Neirone, Malvaro e del Fosso Barbarasco.
- I **terrazzi fluviali di età antica (aa)**, rappresentati da piccoli lembi residuali situati a quote decisamente elevate rispetto al fondovalle attuale. Essi presentano materiale molto elaborato; si tratta di elementi a granulometria variabile con prevalenza delle parti fini, argillo-sabbiose ben classate e talora con lenti ghiaiose. Localmente si è riscontrato un arrossamento di taluni orizzonti che potrebbero rappresentare episodi di ferrettizzazione (località Gallinaria).

2.3 Geomorfologia

A differenza della quasi totalità delle vallate tirreniche della Liguria, la caratteristica peculiare della valle in discorso è la direzione dell'asse principale che è orientato WNW-ESE, con andamento parallelo alla costa e l'asimmetria trasversale dei versanti. L'orientazione parallela alla costa genera un doppio spartiacque di cui il principale determina la divisione tra il versante ligure e quello padano, mentre il secondario è interamente compreso nel versante ligure. L'asimmetria della sezione trasversale della valle, facilmente rilevabile in sito o sulla cartografia, è rappresentato da un maggiore sviluppo in lunghezza e dalle quote dei versanti delle valli in sponda sinistra del Torrente Lavagna. Il versante Nord è, infatti, molto più esteso e dotato di un'energia del rilievo maggiore rispetto al versante Sud, ridotto da un punto di vista della superficie e con una minore percentuale di aree fortemente acclivi.

Le caratteristiche morfologiche appaiono legate ad importanti **direttrici tettoniche** connesse all'evoluzione geomorfologica pleistocenica, alla quale è assai evidente la stretta correlazione dell'assetto del reticolo idrografico attuale.

La Val Fontanabuona si sviluppa quasi interamente, tranne che per alcuni tratti delle parti sommitali, nei litotipi della Gruppo degli Scisti di Val Lavagna. Lungo i versanti, generalmente abbastanza acclivi, si riscontrano, con una certa frequenza, depositi eluvio-colluviali ed accumuli detritici più o meno potenti, spesso interpretabili come **corpi di paleofrane**.

Alcuni centri abitati, a causa delle caratteristiche del territorio favorevoli all'insediamento, che possono esplicitarsi nella minore acclività rispetto alle zone circostanti, maggiore potenza del terreno sfruttabile ad uso agricolo, presenza di sorgenti o falde acquifere, sono sorti in corrispondenza di questi accumuli detritici. Fra le aree più significative che rispondono a questo meccanismo insediativo, in Val Lavagna si possono citare: Vallebuona, Tassorello, Lezzaruola, Ognio, Moconesi, Alvari, Croce d'Orero, Orero, Casarile, Coreglia, Tribogna, Piandepreti, Lumarzo, Pannesi.

Nella parte centrale del bacino, dove più evidente appare l'asimmetria della vallata, con un versante destro ridotto ed decisamente acclive e con quello sinistro molto più esteso ed articolato in sottobacini, caratterizzato dalla presenza dei due maggiori affluenti del Torrente Lavagna, il Torrente Neirone ed il Torrente Malvaro, si riscontra sempre una notevole presenza di aree occupate da detrito di diversa origine, in particolare a ridosso del fondovalle principale e sui versanti dei principali affluenti. Ampie zone di affioramento

roccioso sono situate alle testate del Torrente Moconesi e del Torrente Malvaro, dove molto numerose sono le aste in erosione regressiva di fondo favorita dalla forte pendenza.

In questo settore, hanno un grande sviluppo gli elementi salienti della geomorfologia del bacino: i **terrazzamenti fluviali**, le **cave di ardesia** e le **discariche di materiale ardesiaco**.

I terrazzi fluviali di origine recente si sviluppano principalmente lungo le sponde del Torrente Lavagna ed in misura minore anche lungo alcuni tratti del Torrente Neirone e del Torrente Malvaro. Residui di terrazzamenti più antichi, ascrivibili a precedenti fasi deposizionali del Lavagna, sono individuabili a quote variabili (dai 205 mt. s.l.m. in prossimità di Gattorna ai 60 mt. presso Calvari) su entrambi i versanti, anche se con maggiore frequenza su quello in sinistra idrografica.

Le discariche di materiale inerte derivante dall'estrazione e dalla lavorazione dell'ardesia, attività che rappresenta un fattore portante dell'economia della vallata, costituiscono per le loro caratteristiche e la loro diffusione, un elemento importante nella morfologia del bacino. Gli accumuli-discardiche di materiale ardesiaco, presenti in maniera diffusa sui versanti del Torrente Moconesi, del Torrente Cornia, del Torrente Malvaro ed, in maniera molto più limitata, nelle testate del Rio Rosso e Rio di Marsiglia sul versante Sud, sono spesso residui di attività dismesse o, comunque, discariche non più utilizzate. Le vecchie discariche di ardesia, se ricoperte da un adeguato strato di terreno, possono presentarsi più o meno vegetate e determinare quindi un minore impatto visivo, oltre che acquistare maggiore stabilità. Da un punto di vista della stabilità, questi accumuli sopportano angoli di naturale declivio decisamente forti (anche 100%); la loro stabilità è dovuta inoltre alla elevata permeabilità degli accumuli, che dipende dalla loro particolare granulometria, compresa tra la ghiaia e blocchi pluridecimetrici che, creando un elevato volume di vuoti, permettono un deflusso ottimale dell'acqua al loro interno, riducendo a valori minimi le pressioni interstiziali.

Il settore Est del bacino, quello più a valle, presenta le quote assolute inferiori ed, in generale, una minore energia del rilievo. Coltri detritiche e paleofrane hanno una minore frequenza, così come le zone di affioramento roccioso in corrispondenza dello spartiacque di Nord-Est; anche in questa parte di bacino, associati a queste aree, sono localizzati i più importanti fenomeni di erosione concentrata e ruscellamento diffuso. I depositi alluvionali terrazzati occupano quasi con continuità il fondovalle su entrambe le sponde del Lavagna ed esigui tratti degli affluenti principali; superfici terrazzate antiche sono state individuate in questo settore solo sul versante Nord. In questo settore le cave e discariche di ardesia sono limitate ai versanti del Canale d'Isolona.

La sezione tipica longitudinale della Val Lavagna presenta numerose variazioni di acclività a partire dallo spartiacque appenninico: si osservano in particolare più di sei rotture di pendenza a delimitare diversi pianori morfologici. La sezione trasversale presenta invece nella parte alta dei versanti una morfologia valliva piuttosto ampia, a testimonianza di una fase più matura del corso d'acqua, in contrapposizione ad una parte bassa notevolmente più stretta ed incisa, sintomo di una ripresa della fase erosiva con conseguente ringiovanimento morfologico (Brancucci et al., 1988). Questa ripresa della fase erosiva è testimoniata dalla presenza di meandri incassati all'altezza della confluenza tra il Rio di Lumarzo ed il Torrente Lavagna, in località Quartaie, prima dell'abitato di Ferrada e tra Ferrada e Cicagna, presso Bavaggi.

Lungo gli spartiacque del bacino si possono notare tracce di antichi reticoli idrografici le cui testimonianze sono rappresentate da valli morte e fenomeni di cattura. Tra le catture più evidenti si ricordano quella in prossimità del Monte Caucaso dove un tratto del Torrente Aveto è stato catturato dal Rio Molinello, affluente di destra del Torrente Malvaro, e quella

della parte alta del Fosso di Monte Finale da parte di un affluente di destra del Torrente Neirone. Tra le emergenze geomorfologiche merita di essere citato anche il fenomeno di cattura, non ancora avvenuto ma destinato a compiersi a causa dell'intensa erosione regressiva, da parte del Torrente Malvaro sull'alto bacino dell'Aveto nei pressi del Passo della Scogliana.

Esempi di valli morte o sospese, sono stati individuati presso il Monte Croce dei Fo, la sella di Calcinara ed il versante sinistro del Torrente Malvaro.

In relazione ai diversi aspetti morfologici che caratterizzano l'area in esame, sono stati analizzati prevalentemente gli elementi caratteristici d'instabilità geomorfologica. In particolare sono stati analizzati e identificati nel dettaglio:

- ✚ *l'andamento areale delle coperture detritiche superficiali e delle caratteristiche generali di comportamento in relazione alle diverse litologie di substrato;*
- ✚ *le forme ed i processi geomorfologici connessi alla gravità;*
- ✚ *le forme ed i processi legati all'azione delle acque correnti superficiali;*
- ✚ *l'esame dei fenomeni antropici che determinano un'elevata influenza sulla stabilità dei versanti.*

Per le frane si è analizzato lo stato d'attività secondo le definizioni dell'UNESCO (1993), i cui termini (attiva, quiescente, stabilizzata etc.) corrispondono a quelli delle raccomandazioni della Regione Liguria (1997).

Le indagini sono state condotte sia effettuando rilievi di campagna, sia utilizzando tecniche di telerilevamento su fotografie aeree.

2.3.1 Acclività

Nell'ambito delle cartografie di base, si è ritenuto utile inserire il tematismo dell'acclività dei versanti per l'implicazione che tale parametro può avere nei confronti della stabilità ed in riferimento agli eventi franosi pregressi consentire un'analisi più puntuale delle cause che li hanno generati.

Il bacino del torrente Lavagna, il cui fondovalle principale ha direzione WNW-ESE, si presenta fortemente asimmetrico per motivi sostanzialmente tettonici. Il versante Nord è infatti molto più esteso e dotato di una energia del rilievo maggiore rispetto al versante Sud, ridotto da un punto di vista della superficie e con una minore percentuale di aree fortemente acclivi.

Per poter esprimere valutazioni di maggiore dettaglio è stato necessario redigere la Carta dell'acclività, per la quale è stata utilizzata la cartografia redatta da Regione Liguria nel 2001, al fine di uniformare la metodologia di studio in tutti gli ambiti territoriali della Provincia di Genova.

Sono state distinte sette classi di acclività evidenziate con colori percentuali in tono crescente secondo l'intervallo della pendenza del terreno.

I valori sono espressi in percentuale, da un minimo di 0%, che corrisponde alla pendenza nulla (pianura), ad un massimo di 100%, che corrisponde a 45° di pendenza.

La carta dell'acclività è stata realizzata a partire dal modello digitale del terreno (DTM) ottenuto dall'interpolazione di punti appartenenti ad una griglia a passo regolare di 40 metri. Per l'identificazione delle diverse classi si è fatto specifico riferimento alle Raccomandazioni Regionali che individuano le seguenti classi di acclività:

- classe 1, acclività 0% - 10%;
- classe 2, acclività 10% - 20%;
- classe 3, acclività 20% - 35%;
- classe 4, acclività 35% - 50%;
- classe 5, acclività 50% - 75%;
- classe 6, acclività 75% - 100%;
- classe 7, acclività >100%.

Da una analisi della distribuzione spaziale delle varie classi di acclività in rapporto ai principali elementi geomorfologici, si nota come la prima e la seconda classe (da 0 a 20 %) risultino associate prevalentemente alle aree pianeggianti di fondovalle, terreni alluvionali attuali, recenti ed antichi del Torrente Lavagna, spesso terrazzate e sede della maggiore urbanizzazione della valle in un bacino come questo, dove la percentuale delle aree pianeggianti è davvero ridotta.

Le zone di coltre, in particolare quelle più estese, ricadono generalmente nella terza e quarta classe di acclività (20 - 50 %), anche se con una certa frequenza si riscontrano zone con pendenza inferiore, appartenenti alla prima e seconda classe (0 - 20 %) e raramente zone con pendenza maggiore appartenenti alla quinta classe (50 -75%).

I corpi di paleofrana, spesso inclusi in aree detritiche più vaste, hanno pendenze simili a quelle sopra descritte, specie nella loro parte inferiore, possono raggiungere anche la quinta classe di acclività.

Le aree con roccia affiorante e subaffiorante, così come quelle interessate da fenomeni di ruscellamento diffuso, sono localizzate nelle parti più elevate del bacino, in particolare sul versante Nord, e sono quelle a maggiore acclività. Queste porzioni di versante ricadono nelle tre classi a maggiore acclività (50-75 %, 75 - 100 % e oltre 100 %).

Un'analisi comparata tra la distribuzione di acclività e litologia porta invece alle considerazioni di seguito riportate.

Formazione dei Calcari di Monte Antola

occupa le parti più alte del settore Sud occidentale del bacino, presenta una acclività compresa tra il 35 e oltre 100 % (ultime quattro classi), grazie all'elevata resistenza meccanica del litotipo calcareo.

Formazione di Ronco

Ubicata nei settori medio-alti del bacino, sopportano pendenze notevoli, 50-100 % ed oltre, grazie alle loro buone caratteristiche meccaniche. Per i versanti interessati dai litotipi arenacei, la pendenza diminuisce in modo considerevole all'aumentare del grado di fratturazione.

Ardesie di Monte Verzi, Formazione della Val Lavagna

presenta una struttura compatta, specie in mancanza di fratturazioni e intercalazioni di arenarie, capace di sopportare pendenze notevoli. Questo litotipo, che occupa buona parte della fascia mediana del bacino, con la maggiore estensione areale sul versante Nord, raggiunge pendenze anche del 75 %, ricadendo generalmente in quarta e quinta classe ed in maniera minore nella terza.

Formazione della Val Lavagna

litotipo prevalentemente argillitico, che occupa gran parte del settore più occidentale del bacino, le testate dei Torrenti Neirone e Malvaro ed una fascia di 0.5 - 2 Km a cavallo del fondovalle principale, ha una distribuzione dell'acclività piuttosto ampia. Le pendenze riscontrate variano infatti, in linea di massima, dalla seconda alla quinta classe (un intervallo tra il 10 ed il 75 %). All'interno di questa litologia è possibile una distinzione tra i versanti Nord, arealmente più estesi e con pendenze prevalentemente maggiori (35-75%), e quelli Sud con

pendenze generalmente più basse (10-35%). Nel settore medio-basso del bacino si può distinguere bene la variazione di acclività, su entrambi i versanti, tra le argilliti, mediamente acclivi, e le ardesie, con pendenze quasi sempre superiori al 35%.

Formazione delle Argille a Palombini del Lago di Giacopiane

localizzata in un ristretto areale nell'estremità sud-orientale del bacino, si può dire che i versanti impostati su questo litotipo mantengono delle pendenze medio basse, in gran parte comprese tra il 10 ed il 35% e localmente rientranti nella quarta classe (35-50%).

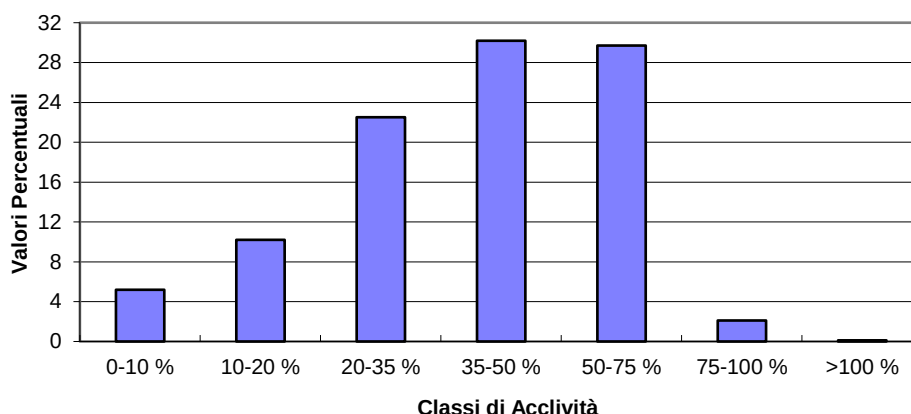
Accumuli detritici con spessore superiore a tre metri

spesso coincidenti, almeno in parte, con corpi di paleofrana, presentano una certa variazione di acclività risultando compresi tra la seconda e la quarta classe (10-50%) e occasionalmente nella quinta (50-75%). Questa variabilità di condizioni di acclività è dovuta al diverso tipo di genesi del detrito e alla diversa composizione e granulometria, elementi che incidono in maniera determinante sull'angolo di riposo dei terreni incoerenti.

Depositi alluvionali attuali, terrazzati recenti ed antichi

ubicati per la maggior parte sul fondovalle principale, rientrano in genere nella prima classe di acclività (0 - 10%). Localmente, specie in corrispondenza dei terrazzamenti antichi altimetricamente più elevati, la pendenza può raggiungere la seconda classe a causa dello sviluppo di scarpate più potenti.

La distribuzione del parametro acclività sull'intero bacino, determinata in maniera automatica a partire dal modello digitale del terreno è stata oggetto di verifiche e controlli sistematici a livello cartografico, che hanno permesso di calibrare i risultati nei pochi casi in cui i risultati numerici non erano sufficientemente accurati.



Da notare tuttavia che, poichè l'elaborazione automatica dei dati ha necessariamente eseguito un processo di smoothing degli stessi, smorzandone le irregolarità, all'interno della cella di 100 m x 100 m il dislivello massimo è talvolta inferiore a quello reale. In tal senso, i bassi valori percentuali delle ultime due classi (75-100% e >100%) non rispecchiano fedelmente la situazione dei versanti ad elevata acclività.

Questo problema non incide in pratica sui risultati ottenuti per le classi inferiori essendo la reale topografia costituita da curve di livello più distanziate tra loro e più regolari, ma riguarda soprattutto la classe > 100% che ricopre in ogni caso porzioni limitate del territorio del bacino.

La sezione trasversale della valle, nella sua parte mediana, presenta, nella parte alta dei versanti, una morfologia valliva piuttosto ampia, a testimonianza di una fase più matura del corso d'acqua stesso, in contrapposizione ad una parte bassa decisamente più stretta ed incisa, sintomo di una ripresa della fase erosiva con conseguente ringiovanimento morfologico.

Evidenze di variazioni di pendenza sui versanti sono dovuti, oltre ai processi legati al fenomeno di ringiovanimento, alla diversa risposta ai processi erosivi da parte delle litologie presenti nel bacino.

Una variazione abbastanza pronunciata nell'acclività dei versanti, anche se in taluni casi sfumata e graduale per la presenza di coltri detritiche, si individua nella fascia medio-bassa dei versanti dove da litologie del tipo calcareo-marnoso, arenaceo e marno-scistoso (ardesie), capaci, a diverso titolo, di sopportare notevoli pendenze si passa alle litologie argillitiche o scistoso-argillitiche prossime al fondovalle.

Altro elemento saliente nell'ambito del modellamento dei versanti di questo bacino sono le coltri detritiche ed in particolare i corpi di paleofrana, particolarmente diffusi, sia come numero sia come estensione. Queste aree si presentano di norma con una acclività inferiore al versante su cui insistono ed in taluni casi i corpi di paleofrana hanno modificato la morfologia di alcuni impluvi naturali, colmandoli in parte, o hanno causato la deviazione di corsi d'acqua modificando il reticolo fluviale.

Caratteristico degli spartiacque principali del bacino del Torrente Lavagna, orientati grosso modo Est-Ovest, è il loro progressivo spostamento verso Nord, in conseguenza sia dei fenomeni di cattura, sia dei fenomeni di erosione differenziale degli opposti versanti degli spartiacque, dovuti ad una asimmetria dell'energia del rilievo, imputabile a cause tettoniche (Fanucci, 1979).

2.3.2 Esposizione dei versanti

Si è ritenuto di inserire tra le carte di base anche la Carta dell'esposizione dei versanti, che fornisce indicazioni utili per l'approfondimento di carattere pedologico finalizzato alla stabilità dei suoli ed all'uso dei suoli specialmente collegato all'agricoltura. La carta riporta i risultati ottenuti in modo automatico in scala 1:10000.

La distribuzione delle classi di esposizione nel bacino è condizionata dalla direzione principale della valle, disposta secondo un asse WNW-ESE. Per la redazione di una carta dell'esposizione dei versanti sono state prese in considerazione otto classi coincidenti con le otto direzioni fondamentali più quella a direzione nulla, per le aree pianeggianti, suddivisa in aree di fondovalle e di altopiano.

I versanti in sponda destra del Lavagna sono infatti esposti principalmente a N, E, NE ed in misura inferiore a NW ed a SE. I versanti in sponda sinistra del Lavagna hanno invece una più ampia distribuzione delle esposizioni, dovuta alla maggiore articolazione del reticolo idrografico. Si trovano qui con maggiore frequenza versanti esposti a S, W e SW, ma non sono rare le aree esposte a E, SE.

Un'analisi più dettagliata dell'esposizione dei versanti sulla base della geometria del reticolo idrografico permette di sviluppare le considerazioni di seguito descritte.

*In **sponda destra**, a partire dall'abitato di Ferriere, il bacino presenta un tipo di reticolo ed una conformazione dei versanti piuttosto omogenea. In questa fascia, infatti, l'acclività è piuttosto elevata ed i corsi d'acqua affluenti del Lavagna sono disposti secondo la linea di massima pendenza in modo perpendicolare all'asta principale e creano una serie di piccoli bacini (Rio di Marsiglia, Rio Rosso, Rio Litteglia, Rio Ceriallo, Rio Pendola, Fosso di Coreglia, Fosso di Canevale, Fosso di Vallefredda, Fosso di Camposasco, Rio Scaggia) disposti in direzione circa SSW-NNE. I versanti di questi piccoli bacini sono quindi sempre ben differenziati dal punto di vista dell'esposizione, avendo generalmente il versante sinistro orientato a E, NE, SE e quello destro orientato a N, NW. Fanno eccezione i bacini più a monte,*

Rio delle Ferriere e Rio di Lumarzo, che con una estensione areale maggiore ed un reticolo più sviluppato presentano anche alcune aree con esposizione a S e più raramente a W.

*Il **versante sinistro** del Torrente Lavagna, nel suo insieme, come più volte ricordato, si presenta invece più ampio e con un reticolo idrografico maggiormente organizzato, che crea una maggiore varietà di orientamento. Il settore occidentale e centrale della valle è caratterizzato da una successione di valli e crinali ad andamento grosso modo Nord-Sud, i cui impluvi principali sono rappresentati dall'alto corso del Lavagna, dal Torrente D'Urri, dal Torrente Neirone e dal Torrente Malvaro. L'orientazione Nord-Sud crea una spiccata diversità di esposizione dei versanti principali di questi bacini, dovuta anche alle pendenze che si mantengono sempre elevate, anche se i numerosi affluenti contribuiscono a differenziare la situazione. Per i tre bacini suddetti si possono osservare in linea di massima esposizioni a E, NE, SE per il versante destro ed esposizioni a W, SW, NW per quello sinistro anche se i numerosi affluenti orientati Est-Ovest danno luogo a diverse aree esposte a N e S. Aree di una certa rilevanza esposte a S, SW sono anche quelle di interbacino adiacenti al corso del Torrente Lavagna. Il settore orientale del bacino, sempre per quanto riguarda la sponda sinistra, è arealmente meno esteso e più omogeneo da un punto di vista del reticolo idrografico. I corsi d'acqua principali (Canale d'Isolona, Fosso Barbarasco, Fosso di Camporile, Fosso d'Arena e il Rio di Valle Mandria) hanno infatti la medesima direzione NNE-SSW ed un reticolo debolmente articolato. Si può notare come in questi casi il versante destro sia sempre orientato principalmente a S e SE, con minore frequenza ad E, mentre quello sinistro sia generalmente esposto a W e NW. I piccoli versanti di interbacino e le testate vallive sono esposti a SW.*

2.3.3 Caratterizzazione delle coperture

Roccia affiorante

Aree caratterizzate dalla presenza di roccia affiorante e subaffiorante con coperture detritiche discontinue fino ad 1 metro di spessore

Aree di questo tipo sono state indicate con la sigla "**R₀**" nel caso in cui la roccia subaffiorante si presenti con caratteristiche strutturali e tessiturali non visibili, "**R**" nel caso in cui il substrato roccioso, affiorante e/o subaffiorante, mostra una disposizione favorevole alla stabilità delle proprie strutture (strati e fratture) rispetto al pendio, "**R_s**" nel caso di disposizione sfavorevole di dette strutture, e "**R_f**" nel caso, molto più comune rispetto al precedente, di substrato in scadenti condizioni di conservazione, alterato e fratturato e/o con ricorrente variabilità giacitura.

Coperture detritiche superficiali

Il territorio in questione presenta diverse aree, più o meno estese, occupate da coltri o accumuli detritici più o meno potenti. In particolare il settore Ovest del bacino presenta numerose aree coperte da detrito più o meno potente, interpretabile spesso come l'accumulo di frane avvenute in epoche remote. Accumuli di paleofrana sono comunque distribuiti in tutto il bacino, tra i più importanti, accompagnati da zone di coltre più o meno potente, ricordiamo quelli di Pannesi, Ognio, Neirone, Camposasco e Moconesi.

Questi grossi centri abitati, ma anche molti altri meno importanti, sorgono in corrispondenza di accumuli detritici grazie alle favorevoli condizioni per l'insediamento umano che, in epoca remota, trovarono i primi abitanti. Caratteristiche delle paleofrane e degli accumuli detritici in genere sono infatti una minore acclività rispetto alle zone

circostanti, maggiore potenza del terreno sfruttabile ad uso agricolo, presenza di sorgenti o falde acquifere dovute alla permeabilità generalmente buona.

2.3.4 Frane attive e franosità diffusa

Si sono distinte, ed ubicate sulla carta, forme attive e forme inattive, forme quiescenti e forme stabilizzate con la distinzione desunta dalla letteratura geologico-applicativa ufficiale - ZARUBA Q. & MENCL V., *Landslides and their control*, 1969, VARNES D.J., *Landslides types and processes*, 1978 -, e ripresa più recentemente da una Nota del Gruppo Nazionale Geografia Fisica e Geomorfologia, Boll. Soc. Geol. It., Vol. CVI, Fasc.2, 1987, pgg.199-221, dove si dice: le forme **attive** sono quelle che risultano in movimento nell'ultimo anno (al momento della rilevazione), ovverosia nel periodo compreso tra la fine dell'ultimo movimento ed il presente (momento della rilevazione), cioè < 1 anno.

Si considerano invece **inattive** quelle forme non in movimento da più di un anno, ovverosia nel periodo compreso tra la fine dell'ultimo movimento ed il presente (al momento della rilevazione), cioè > 1 anno.

A loro volta, le forme inattive si dividono in:

quiescenti se non sono in movimento da più di un anno, ma potenzialmente riattivabili

stabilizzate se non sono in movimento da più di un anno e non sono più soggette alle cause che le hanno originate.

I movimenti gravitativi di notevoli dimensioni oltre che a normali fenomeni d'instabilità dei versanti possono essere collegati a lineazioni tettoniche da un rapporto genetico diretto o indiretto. Nel bacino in questione esempi di fenomeni gravitativi impostati su faglie o linee tettoniche sono quelli di Boasi e Incisa, Tassorello, Pannesi, in località Raine e nei pressi di Vallebuona, mentre a volte si configura un rapporto genetico indiretto individuabile nella erosione alla base dei versanti di una valle a sua volta impostata lungo linee tettoniche come nel caso della valle del Rio delle Ferriere. Altre volte le paleofrane possono essere collegate a zone di debolezza come quelle di contatto tra diverse litologie e/o al particolare stato di fratturazione del litotipo (ad esempio nei casi di Ognio, Lezzaruole e Moconesi).

Dal diagramma che riporta i movimenti franosi antichi e recenti suddivisi per comune, si nota come tutte le zone della valle siano state interessate da processi di instabilità, non solo i comuni che ricadono nei settori elevati del bacino come i Comuni di Lumarzo, Neirone o Favale. Ciò è dovuto alla presenza in tutta la valle di estese coltri detritiche e della formazione della Val Lavagna, costituita da litotipi che per caratteri litologici e strutturali dà luogo a fenomeni di instabilità sia in affioramento che al contatto con le sovrastanti formazioni calcareo-marnose del Monte Antola (margine meridionale della valle) e arenacee di Monte Zatta (margine settentrionale).

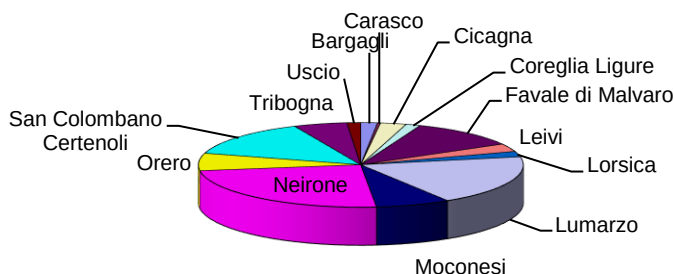
Una specifica attenzione meritano i fenomeni individuati come paleofrane, proprio in rapporto alla loro intrinseca forma e struttura morfologica. Sono infatti forme che presentano superfici con contenute pendenze, manifestando spesso una tendenza alla condizione di piano e che pertanto possono essere individuate come sedi per la collocazione di elementi di urbanizzazione e/o infrastrutture. Questo utilizzo va, peraltro, valutato sulla base di accurate indagini geologiche.

Tali situazioni presentano una diffusione elevata sui versanti determinando pertanto condizioni che nella successiva fase di valutazione delle criticità e nella conseguente definizione degli aspetti più propriamente normativi dovranno trovare adeguato risalto e una coerente definizione in termini di congruità fra il contesto territoriale e le possibili scelte

d'uso e di sostenibilità.

Nel diagramma successivo vengono evidenziate gli eventi franosi censiti nel bacino suddivisi per comune di appartenenza.

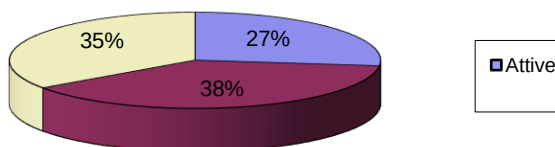
Eventi Franosi per Comune Bacino T. Lavagna



Nella Carta della franosità reale per ogni movimento franoso è associata l'indicazione di attivo (a), quiescente (q) o stabilizzato (s). Nel caso di aree sufficientemente estese per essere perimetrate sono stati utilizzati dei retini diversi per ogni tipologia di frana.

Nel diagramma seguente illustra gli eventi franosi censiti all'interno del bacino suddivisi per tipologia e stato di attività.

Eventi franosi Bacino T. Lavagna



I fenomeni franosi attivi costituiscono il 27% delle aree in frana; i fenomeni franosi stabilizzati, naturalmente o artificialmente, e le paleofrane il 35% mentre quelle quiescenti, costituiscono il 38% delle aree in frana.

Crolli e ribaltamenti

Tali fenomeni gravitativi consistono nel distacco di masse di roccia da pareti ripide e strapiombanti ed interessano principalmente la porzione settentrionale del Bacino. In queste zone l'ammasso roccioso che costituisce la parte sommitale dei versanti si presenta in condizioni perlopiù scadenti. I movimenti gravitativi di crollo sono identificabili principalmente in corrispondenza dei litotipi argillitici e del contatto marne –arenarie.

Scorrimenti e Colamenti

Tali movimenti avvengono principalmente lungo una superficie di discontinuità preesistente inclinata, costituita perlopiù da una superficie di strato. I movimenti franosi riconducibili a scivolamento rappresentano la tipologia di frana più frequente del bacino in esame dopo

quelle complesse ed interessano principalmente la coltre detritica eluvio – colluviale e gli antichi accumuli di frana. L'innescò di questa tipologia di frana interessa tutte le litologie presenti nel territorio ma principalmente i litotipi argillitici a causa delle caratteristiche geomeccaniche piuttosto scadenti dei materiali coinvolti.

Debris flow

Tali movimenti si verificano principalmente in corrispondenza di piogge intense e concentrate causando fenomeni di instabilità del terreno di copertura; in genere si tratta di movimenti di dimensioni ridotte che possono raggiungere notevoli concentrazioni per unità di superficie. La zona maggiormente interessata da questa tipologia di frana è la parte sud-orientale del bacino.

Soil slip

Tale tipologia di movimento può essere assimilato al colamento lento di una massa viscosa fluida ed è propria di suoli ricchi di limo e argilla capaci di saturarsi d'acqua; il movimento è perlopiù lento e si manifesta nel suolo fluidificato in seguito a imbibizione. Il soil slip o soliflusso si manifesta principalmente su versanti costituiti da rocce argillose e un esempio di questo tipo di movimento nel bacino in esame è rappresentato dalla frana in località Forca.

2.3.5 Altri fenomeni gravitativi

Deformazioni Gravitative Profonde di Versante (D.G.P.V.)

Sono stati classificati nell'ambito delle D.G.P.V. quei fenomeni di movimenti di massa in cui la presenza di un'eventuale superficie di scorrimento continua non è macroscopicamente evidente e non è necessario postularla per rendere conto delle deformazioni osservate in superficie ed in profondità.

Tali movimenti di massa rappresentano la risposta più evidente dell'evoluzione dei versanti rispetto ai fenomeni di abbassamento rapido per erosione dei fondovalle che hanno determinato variazioni degli stati tensionali presenti nei pendii.

Le DGPV nel territorio in esame sono localizzate a Ognio e il versante sottostante monte Gionei e monte delle Scaglie.

2.3.6 Alluvioni e terrazzi fluviali

Depositi alluvionali attuali sono riscontrabili solo sul fondovalle principale, dove appaiono in maniera discontinua a partire dalla zona di Cicagna per poi espandersi e diventare più potenti in prossimità di Pian dei Ratti, da dove il Lavagna scorre nelle proprie alluvioni.

I depositi alluvionali terrazzati, recenti ed antichi, si trovano concentrati in massima parte lungo il fondovalle principale a partire dalla zona di Gattorna. Piccole aree occupate da depositi fluviali recenti si ritrovano anche lungo il corso degli affluenti principali del Lavagna: in sponda sinistra in alcuni tratti del Torrente Neirone, del Torrente Moconesi e del Fosso Barbarasco, e, più diffusamente, lungo il Torrente Malvaro ed il Canale d'Isolona, in sponda destra solamente nei tratti più a valle del Torrente Litteglia.

I residui di depositi alluvionali più antichi risultano più frequenti nella parte mediana del bacino, sempre lungo la fascia del fondovalle, a quote sopraelevate rispetto ai terrazzi recenti e che variano dai 60 m ai 205 m s.l.m., nel tratto tra gli abitati di Terrarossa e Calvari.

2.3.7 **Aree in erosione**

In termini geomorfologici, i fenomeni erosivi sono un problema di rilevanza per il bacino del Lavagna; tuttavia si tratta di una condizione che si colloca in aree ben definite e che quindi interessa porzioni di versante facilmente individuabili.

I fenomeni erosivi sui versanti all'interno del bacino sono localizzati, in linea generale, in prossimità degli spartiacque, anche quelli interni, e nelle testate vallive dove la copertura vegetale è ridotta. In particolare, per quanto riguarda la sponda in sinistra idrografica, le localizzazioni più consistenti interessano le testate vallive del Lavagna, del Neirone, del Canale di Moconesi, del Malvaro ed il displuviale del lato sud del Monte Mignano.

La situazione cambia per la sponda idrografica destra, in rapporto alla diversa copertura vegetale, all'esposizione ed all'orientamento dei versanti. In generale si può quindi rilevare che tale sponda, anche nelle sue parti sommitali, presenta una minore incidenza dei fenomeni di erosione che risultano più marcati esclusivamente in alcune testate vallive identificabili nella parte alta degli impluvi senza nome e, procedendo lungo la valle, l'alto bacino del rio Vallebuona, fossato Coreglia, rio Canevale.

La condizione erosiva si manifesta in generale secondo fenomenologie tipiche del ruscellamento diffuso e del ruscellamento incanalato ed in taluni casi hanno significativo riguardo delle aste minori, specie nei tratti più montani laddove incidono litotipi teneri o coltri di versante. Un caso tipico si riscontra sul versante sud in loc. Pian dei Preti in comune di Tribogna.

I fenomeni di ruscellamento diffuso e di erosione concentrata di fondo lungo gli impluvi si manifestano spesso associati e portano ad un dilavamento dei versanti con l'asportazione della coltre di suolo superficiale. Le zone del bacino maggiormente interessate da questo tipo di fenomeni si riscontrano alle testate vallive dei Torrenti Moconesi e Malvaro, lungo gli spartiacque di Nord-Ovest e lungo quelli di Nord-Est.

Non sono da trascurare anche significative azioni erosive lungo il corso d'acqua principale specie nella parte terminale, dove i fenomeni, in alcuni casi, assumono un'evoluzione parossistica che dovrà essere controllata con idonei provvedimenti, al fine di evitare l'innescò di pericolosi fenomeni di rimbalzo della corrente con conseguenti gravi ripercussioni sulle sponde e su ampie zone di territorio ad esse prospicienti.

Episodi di erosione spondale sono anch'essi piuttosto diffusi lungo i principali corsi d'acqua del reticolo idrografico. Fenomeni di questo tipo, che portano talvolta allo scalzamento al piede di versanti o di opere idrauliche con i conseguenti dissesti indotti, sono localizzati principalmente lungo il corso del Torrente Lavagna, in corrispondenza di anse più o meno accentuate e, in maniera minore, lungo il corso del Torrente Malvaro.

2.3.8 **Cave e discariche**

Il territorio in questione è caratterizzato dal punto di vista delle attività estrattive dalla presenza dell'importante polo ardesiaco della Val Fontanabuona, da circa un secolo la più importante area di estrazione e lavorazione dell'ardesia in Italia.

Questo materiale, grazie alle particolari caratteristiche meccaniche e mineralogiche, è utilizzato prevalentemente nel comparto dell'edilizia e per la produzione di lastre per biliardo (destinate in particolare al mercato statunitense), da ricordare anche la

produzione per lavagne e il nuovo segmento dell'oggettistica e dell'arredamento. Gli svariati impieghi dell'ardesia dipendono prevalentemente dalla sua divisibilità. Questa particolare fissilità dipende dal fatto che i minerali argillosi tendono a disporsi su piani paralleli tra i quali si dispongono, in finissime strutture lenticolari, i granuli di calcite e di quarzo.

Quelle di ardesia sono le uniche cave presenti nel bacino. La loro localizzazione risponde ovviamente alla distribuzione geografica dei terreni appartenenti alle Ardesie di Monte Verzi (e coincide con due fasce di medio versante presenti su entrambi i versanti).

Nell'area della Val Fontanabuona, la giacitura delle bancate arenacee che rappresentano l'originaria stratificazione, è perlopiù debolmente inclinata. Nei banchi argillosi, la scistosità che risulta perpendicolare alla direzione principale delle deformazioni tettoniche, forma un angolo abbastanza basso rispetto al contatto con le arenarie. Va osservato che la scistosità si mantiene abbastanza costante e con un angolo poco inclinato rispetto all'orizzontale in tutta la zona estrattiva, mentre può variare in maniera abbastanza importante la giacitura degli strati sedimentari.

Generalmente il banco principale, detto impropriamente "filone", ha uno spessore considerevole ed è accompagnato a breve distanza da uno o due filoni paralleli di minore spessore. Il filone di ardesia è tipicamente intercalato tre due bancate di arenaria di spessore particolarmente elevato, che i cavatori chiamano "soglia" e "tetto", indicando rispettivamente quello inferiore e quello superiore (Mannoni, 1995).

I sistemi di coltivazione per le cave di ardesia sono riconducibili a due tipi fondamentali: secondo le condizioni di affioramento rispetto all'andamento del pendio la coltivazione può svilupparsi in sotterraneo od essere a cielo aperto (superficiale).

Le cave in sotterraneo sono essenzialmente ricollegabili a tre principali tipologie: cave a camere con sostegni di tetto, cave a fossa, cave a galleria; quelle a cielo aperto risultano generalmente del tipo a gradoni od a fossa, secondo la morfologia del fronte di abbattimento.

Esaminiamo ora brevemente i tipi di coltivazione in sotterraneo.

Le **cave a camere con sostegni di tetto** sono caratterizzate dallo sviluppo in profondità con la creazione progressiva di camere, il "filone" ardesiaco viene coltivato secondo la linea di massima pendenza, procedendo con sbancamenti successivi.

La coltivazione sotterranea si sviluppa per tutta la potenza di "giacimento" utile; la stabilità dei vuoti interni è assicurata da sostegni del tetto, solitamente rappresentati da pilastri o diaframmi rocciosi non coltivati, di vario dimensionamento secondo la volumetria estratta.

La coltivazione vera e propria procede poi con il metodo "a fette orizzontali" (o leggermente inclinate, secondo le condizioni giaciturali del "filone") generalmente dall'alto verso il basso, fino al completo sfruttamento della roccia utile. Le "fette" vengono tagliate avvalendosi di macchine da taglio a catena dentata al widia che vengono posizionate dopo uno scoronamento effettuato con esplosivi (mine cilindriche) delle porzioni sommitali del filone. In seguito con altri utensili viene provocato lo stacco completo del blocco secondo il piano di sfaldatura principale. L'ardesia una volta cavata viene rimossa ed avviata rapidamente alla lavorazione.

Le **cave del tipo a fossa (o a cannone)** utilizzano tecniche assai simili.

In questo caso il “filone” ardesiaco si trova in condizioni giaciture particolari, con angolo molto elevato rispetto al pendio e quindi lo sbancamento assume una tipica verticalità. Cave di questo tipo si ritrovano in particolare nell’areale di Ponte Mastra (Lorsica) dove le vicende tettoniche hanno profondamente modificato le condizioni giaciture. In questa zona le coltivazioni possiedono una spiccata verticalità, le superfici di “tetto” e di “letto” che delimitano il giacimento utile si trovano infatti in posizione sub-verticale e gli sbancamenti del tipo “a fossa” hanno obbligato, col crescere della profondità, alla costruzione di pilastri artificiali in posizione sub-orizzontale.

*Nelle **cave del tipo a galleria** le tecniche di coltivazione sono simili alle precedenti. La coltivazione in questo caso si sviluppa particolarmente in senso longitudinale mentre la morfologia risulta simile a quella di una galleria. Questa tecnica di coltivazione viene utilizzata, in particolar modo, quando le condizioni giaciture del filone ardesiaco sono regolari e possiedono un netto sviluppo preferenziale in senso longitudinale.*

Le cave a cielo aperto risultano concentrate lungo il versante orografico destro della valle. In questa, infatti, le Ardesie di Monte Verzi affiorano in continuità subito al di sotto ai calcari della Formazione del Monte Antola, in una fascia altimetricamente piuttosto elevata e con caratteristiche particolari.

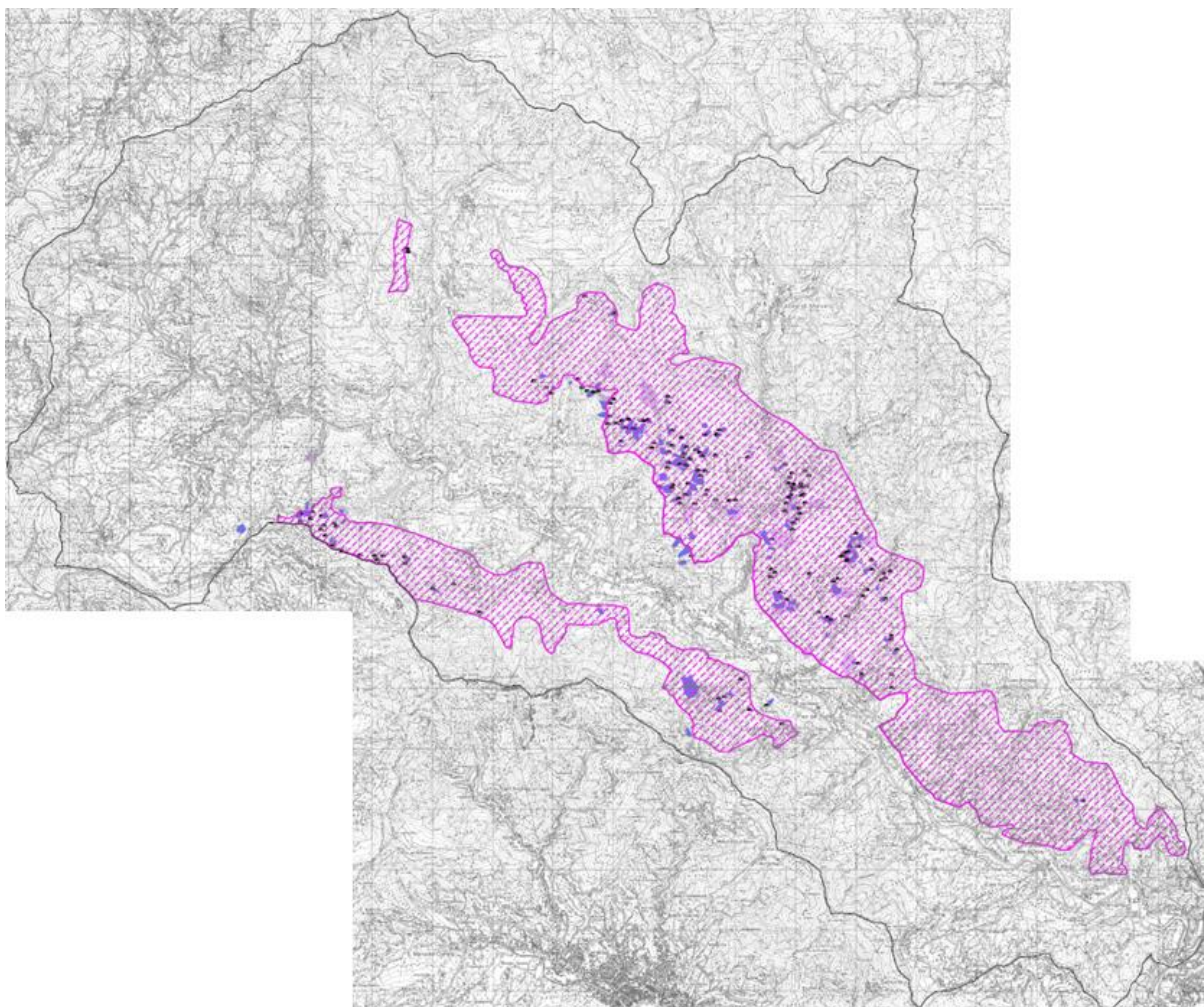
I “filoni” ardesiaci hanno infatti potenze decisamente rilevanti, fino a 10-15 m, con giaciture generalmente a reggipoggio rispetto al pendio e sono caratterizzate da uno sviluppo solitamente sub-superficiale. L’insieme di questi fattori ha favorito lo sviluppo di tecniche estrattive a cielo aperto del tipo a gradoni o a fossa.

L’ardesia viene sempre cavata con il taglio di “fette” sub-orizzontali discendenti e secondo lo sviluppo referenziale del filone la coltivazione può assumere una certa verticalità (cava a fossa) o possedere una morfologia più superficiale (cava a gradoni).

Sul territorio è presente un imprecisato (nell’ordine delle centinaia) numero di cave esaurite ed abbandonate disseminate sui versanti della valle, che però dato il sistema di coltivazione non creano, in se stesse, particolari problemi di stabilità, impatto ambientale o rivegetazione della zona (sono infatti quasi sempre situate in aree completamente boscate).

Le informazioni ed i dati oltre quelli già in possesso, sono stati forniti dalla Regione Liguria, Servizio Attività Estrattive; altri dati sono stati ricavati dalle Carte Tecniche Regionali in scala 1:10.000, da rilievi in sito e da informazioni raccolte mediante colloqui con la popolazione locale.

Il posizionamento planimetrico di ciascuna cava le aree adibite a discarica mappate sotto si riferiscono solo a quelle riportate sulla documentazione consultata, a quelle visibili dal fondo valle o dai versanti opposti, dalle foto aeree esaminate, da altri elaborati grafici di cui ci si è avvalsi e da fotografie effettuate direttamente in sito.



Questo non esclude la presenza, di altre discariche più antiche, che potrebbero essere anche in numero elevato, ormai non più riconoscibili perchè completamente rivegetate e di cui non si hanno notizie o dati sulla loro localizzazione. Questo fatto per altro non incide sugli scopi ultimi del lavoro, mirati alla stabilità dei versanti, in quanto queste discariche non più utilizzate da lungo tempo e completamente ricoperte da vegetazione anche di alto fusto sono da ritenersi stabilizzate.

Il giudizio sullo stato della superficie esterna è stato espresso sulla base di quanto rilevato direttamente sul terreno, dalle fotografie effettuate in sito, dalle foto aeree da altra documentazione consultata e comunque si riferisce sempre alla data degli ultimi rilevamenti sul terreno (Giugno 2004).

Le coordinate si riferiscono approssimativamente al baricentro della zona cartografata.

La numerazione è stata fatta semplicemente assegnando un numero progressivo a ciascuna area chiusa classificata come discarica di materiale ardesiaco e cartografata senza operare distinzioni di concessione, uso, stato, ecc.. L'area in questione può quindi comprendere anche due o più discariche distinte tra loro, ma affiancate o coalescenti alla scala della carta, con diverse condizioni di attività, considerate come una sola area adibita a discarica.

Sempre nella Carta delle attività estrattive e di discarica sono posizionate, con il relativo numero di identificazione, le aree adibite a discarica di materiale ardesiaco.

Fatta eccezione per una discarica di RSU ubicata nella valle del Rio Marsiglia, nei pressi di località Pian dei Preti, sul versante destro del Torrente Lavagna, tutte le altre discariche del bacino sono legate all'attività estrattiva: si tratta, infatti, di discariche di materiale inerte, scarto dei processi di estrazione e lavorazione dell'ardesia.

La quasi totalità delle discariche di materiale ardesiaco sono situate nella zona mediana di bacino, in gran parte sul versante sinistro del bacino rispecchiando la distribuzione geografica delle cave. In particolare sui versanti del Torrente Moconesi, del Torrente Cornia, del Torrente Malvaro e del Canale di Isolona queste discariche, a volte anche di superficie considerevole, incidono in maniera pesante sul paesaggio diventandone una peculiarità. In oltre poichè l'estrazione dell'ardesia utilizza cave sotterranee le maggiori alterazioni morfologiche ambientali che questo tipo di attività comporta sono rappresentate proprio dalle discariche dei materiali di risulta.

Nell'ambito del presente Piano Stralcio sono state considerate e cartografate sulla Carta Geomorfologica in scala 1:10000 le aree interessate, attualmente od in passato, da discariche di materiale ardesiaco. I confini delle aree di discarica sono stati tracciati non tenendo in considerazione fattori come lo stato di attività o meno, le diverse utenze, il diverso stato superficiale, così che una singola area può comprendere due o più discariche distinte, ma in pratica coalescenti alla scala della del lavoro, con diverse caratteristiche.

Le cave attive o cessate recentemente sono state oggetto di un accurato censimento. Le informazioni ed i dati necessari sono stati forniti dalla Regione Liguria, Servizio Attività Estrattive e dalla Provincia di Genova, Area 06 - Difesa del Suolo; altri dati sono stati ricavati dalle Carte Tecniche Regionali in scala 1:10.000, da rilievi in sito e da informazioni raccolte mediante colloqui con la popolazione locale. La maggior parte delle cave ricade nei territori dei Comuni di Moconesi, Orero e Lorsica, le altre in quelli di Uscio, Coreglia Ligure, Cicagna, Tribogna, S. Colombano Certenoli e Neirone.

2.3.9 Riporti artificiali

Nel territorio del bacino sono stati individuati due grossi riporti nei pressi degli abitati di Ferriere e Calcinara, entrambi eseguiti per la costruzione di strade.

2.3.10 Riordino del Vincolo Idrogeologico

Il riordino del vincolo idrogeologico è previsto dall'art. 34 della L.R. n. 4/1999 e richiamato dall'art. 15 comma 1 punto b della L.R. 9/93 come contenuto del Piano di bacino.

Il notevole lasso di tempo trascorso dalla individuazione delle zone sottoposte al vincolo, effettuata in periodi immediatamente successivi all'entrata in vigore del R.D.L. n. 3267/1923, ed i criteri adottati all'epoca che tennero scarsamente conto delle intrinseche caratteristiche geologiche di alcuni luoghi, rendono la distribuzione delle zone in questione largamente superata o inefficace.

Appare quindi coerente sottoporre al vincolo idrogeologico le aree indicate nella *Carta dei principali vincoli territoriali*, perimetrate secondo quanto previsto dalla DGR 1795/2009 "Approvazione dei criteri in materia di vincolo idrogeologico – aggiornamento della cartografia di riferimento. Integrazione dei criteri di cui alla DGR 357/2001". La metodologia applicata ha tenuto anche conto delle aree ricadenti in suscettività al dissesto elevata (pg3a e pg3b) e molto elevata (pg4).

2.4 Idrogeologia

Nell'ambito del rilevamento generale del territorio si sono valutate le caratteristiche ed il

comportamento delle varie formazioni sotto il profilo idrogeologico, in particolare le condizioni di drenaggio naturale e la permeabilità utilizzate per la classificazione seguente, riportata nella carta idrogeologica:

- ④ **permeabili per porosità;**
- ④ **permeabili per fessurazione, fratturazione o carsismo;**
- ④ **semipermeabili per fratturazione;**
- ④ **impermeabili.**

Formazioni permeabili per porosità

Sono state considerate tali tutte le zone interessate da depositi alluvionali, attuali, recenti o antichi, di terrazzo alluvionale, le coltri detritiche alluvionali e colluviali di una certa importanza.

Per quanto riguarda i grandi accumuli di frana, il materiale detritico presenta in genere buone caratteristiche di permeabilità soprattutto per porosità, grazie alla elevata eterogeneità dei clasti (spesso queste sono zone di serbatoi idrici). Le sorgenti generalmente si manifestano, in questo caso, in superficie al contatto tra materiale franato e roccia in posto seguendo l'andamento del piano di scivolamento. In taluni casi si ha invece una circolazione idrica abbastanza superficiale, con la falda che interseca il piano topografico nella parte alta del corpo di frana.

Formazioni permeabili per fessurazione, fratturazione e carsismo

Vengono inserite in questa classe i calcari marnosi della formazione di Monte Antola e le arenarie appartenenti alle Arenarie di Monte Zatta, i litotipi prevalentemente arenacei della formazione della Val Lavagna ed i terreni calcareo marnosi della formazione di Ronco. In entrambi i casi sono in presenza di grandi stratificazioni fratturate con una certa regolarità in senso normale alla stratificazione; si possono tuttavia riscontrare localmente aree discretamente impermeabili, là dove vi sia una preponderanza d'interstrati argillosi, o dove, come nel caso dei Calcari di Monte Antola, le fratture sono state intasate da materiale d'alterazione argillificati tipici di questa formazione nella zona di cappellaccio.

Formazioni semipermeabili

Appartengono a questa categoria le argille a palombini del Lago di Giacopiane e il membro delle ardesie di Monte Verzi (formazione della Val Lavagna). Nonostante dal punto di vista litologico queste due formazioni siano da considerarsi impermeabili, la presenza di fratturazioni in grande e di interstrati arenacei nelle ardesie e di inclusioni di svariate origini nelle argille a palombini giustificano la collocazione di queste due formazioni in questa classe. Questa situazione è del resto ben riscontrabile nelle numerose cave in sotterraneo di ardesia, dove la presenza di acqua percolante è praticamente costante.

Formazioni impermeabili

Le zone impermeabili sono caratterizzate dalla presenza degli argilloscisti della formazione della Val Lavagna. Questi litotipi, a causa dell'elevata percentuale di minerali argillosi presenti, sono sostanzialmente impermeabili. Gli argilloscisti possono tuttavia presentare localmente una certa permeabilità a causa dell'intensa fratturazione di origine tettonica e delle frequenti intercalazioni di altri litotipi sotto forma di lenti, che possono assumere la funzione di serbatoi; inoltre le variazioni nella granulometria possono determinare

l'instaurarsi circoscritto di una falda idrica, seppure di modesta entità. Per questo motivo le sorgenti rinvenute negli affioramenti argilloscistosi sono generalmente localizzate lungo le fratture ed al contatto con formazioni più permeabili.

2.4.1 Pozzi, sorgenti, derivazioni

Sulla Carta Idrogeologica sono riportati anche i principali pozzi, sorgenti e derivazioni, specificando, quando possibile, il loro utilizzo: potabile, irriguo o industriale; per le sorgenti è stata introdotta anche la suddivisione tra quelle captate e non captate.

Questi dati sono stati ottenuti da cartografie disponibili presso le sedi comunali interessate, dall'“Aggiornamento del Censimento Quali-Quantitativo dei Corpi Idrici della Regione Liguria”, da varia bibliografia e dal rilevamento diretto sul territorio.

Dall'analisi della distribuzione delle sorgenti, captate e non, emerge che la maggior parte di esse è situata sui terreni appartenenti agli Scisti del Gruppo di Val Lavagna, anche perché risultano essere maggiormente rappresentati nel bacino, nonché nel membro delle Ardesie di Monte Verzi, appartenenti allo stesso gruppo. Con tutta probabilità, la venuta in superficie delle acque presenti in questi terreni, si deve alla fratturazione più o meno intensa, che costituisce, pertanto, una via preferenziale di scorrimento. Frequentemente le manifestazioni sorgentizie sono localizzate in corrispondenza di faglie o nelle zone di contatto tra i due diversi litotipi.

Con minore frequenza si ritrovano sorgenti anche nei litotipi arenacei e nei pressi dell'alveo dei corsi d'acqua principali.

In alcuni casi gli accumuli detritici di maggiori dimensioni, e quindi presumibilmente anche più potenti, sono sede di gruppi di sorgenti localizzate, in particolar modo al contatto con il substrato meno permeabile.

La maggiore concentrazione dei pozzi presenti nel bacino si riscontra lungo i corsi d'acqua principali dei quali vengono sfruttate le falde di subalveo; in particolare le falde del Torrente Lavagna, specialmente tra Gattorna e Pianezza, del Torrente Neirone, del Rio d'Urri, del Rio delle Ferriere, del Torrente Cornia e del Canale d'Isolona appaiono quelle con il maggior numero di pozzi.

2.5 Uso del suolo

Considerazioni generali

Il lavoro ha avuto come oggetto la revisione della Carta dell'uso del suolo redatta per il Piano di Bacino Stralcio del Torrente Lavagna approvato nel 2002.

La Carta dell'uso del suolo rispecchia lo stato attuale di utilizzo e di destinazione d'uso del territorio del bacino del torrente Lavagna non solo riferito alle componenti vegetazionali, boschive, arbustive o agricole, ma anche considerando i territori interessati da urbanizzazione, aree industriali, commerciali, estrattive e ricreative.

La carta è stata redatta mediante informazioni ottenute tramite rilievi di campagna che hanno interessato tutta l'area di studio.

Il supporto cartografico utilizzato per il controllo in campo è stato approntato con Carte Tecniche Regionali in scala 1:10.000 con evidenziazione dei crinali e degli altri elementi morfologici utili alla georeferenziazione e con la Carta dell'uso del suolo oggetto di revisione.

Nell'individuazione delle categorie d'uso del suolo e nella successiva stesura della carta è stata seguita la Raccomandazione n° 4A/1996, ("Legende per: Carta della vegetazione reale - Carta di copertura e di uso del suolo - Carta di dettaglio dei movimenti franosi - Scheda per il censimento dei movimenti franosi") dei "Criteri per l'elaborazione dei Piani di Bacino" della Regione Liguria. A questa legenda è stata aggiunta, nella categoria "zone urbanizzate", la sottocategoria "case sparse", per una più accurata azione descrittiva del territorio.

Contestualmente all'individuazione delle categorie di uso del suolo è stato attribuito anche l'Indice di efficienza idrogeologica seguendo le indicazioni riportate nell'allegato della Raccomandazione n° 2/2000 ("Indicazioni metodologiche per la redazione della carta di suscettività al dissesto dei versanti") dei "Criteri per l'elaborazione dei Piani di Bacino" della Regione Liguria.

Analisi delle categorie

TERRITORI MODELLATI ARTIFICIALMENTE

Zone Urbanizzate

Le zone urbanizzate occupano 4,10 Km² (2,54% della superficie totale) e sono ripartite come segue:

- ❖ Tessuto urbano continuo, con una superficie di 0,58 Km² (14,15% della superficie urbanizzata e 0,36% della superficie totale);
- ❖ Tessuto urbano discontinuo, 3,39 Km² (82,68% della superficie urbanizzata; 2,10 % della superficie totale);
- ❖ Case sparse, 0,13 Km² (3,17% della superficie urbanizzata 0,08% della superficie totale).

Viene classificato come tessuto urbano continuo quell'area perimetrata occupata dalle abitazioni per una superficie superiore all'80%, nel bacino in esame sono considerati tali l'abitato di Monleone, Cicagna, Ferrada di Moconesi e Gattorna.

Gli altri insediamenti che all'interno dell'agglomerato urbano perimetrato hanno una copertura compresa tra il 50% e l'80% vengono classificati come tessuto urbano discontinuo (ad esempio San Colombano Certenoli, Calvari, Lorsica, Favale di Malvaro, Orero, Coreglia Ligure, Neirone, Tribogna e Lumarzo).

Le porzioni di territorio caratterizzate dalla presenza di abitazioni, per lo più a carattere agricolo o secondario sono indicate come case sparse.

Zone industriali commerciali e reti di comunicazione

Le aree industriali e commerciali (0,97 Km²; 0,60% della superficie totale) sono abbastanza frequenti nel fondovalle della vallata, sono localizzate nei pressi dei centri abitati o nelle loro immediate vicinanze e fra di esse prevalgono le industrie che trasformano l'ardesia ed i mobilifici.

Aree estrattive e discariche

Le aree estrattive e le discariche (0,72 Km²; 0,44% della superficie totale) sono presenti in maniera cospicua sul territorio nei Comuni di Moconesi, Orero, Lorsica ed in misura minore negli altri comuni.

A proposito delle discariche di materiale lapideo va considerato che il limo e i detriti spesso finiscono per essere presenti in quantità elevata in aree boscate ed arbustive, dove impediscono lo sviluppo e la crescita ottimale di alberi ed arbusti, rallentando il processo di

rinnovazione naturale da seme; tale azione risulta più evidente nei terreni declivi. Nei terreni con pendenze rilevanti i detriti tendono a scivolare in basso, interessando nuove superfici ed aumentando le zone soggette agli inconvenienti precedentemente segnalati.

Inoltre le acque meteoriche quando cadono su questi siti scorrono rapidamente o si infiltrano nella collina, creando instabilità e fenomeni franosi dato che la vegetazione attorno alla discarica è meno efficace nel trattenere il terreno.

La presenza delle discariche è di cornice all'industria estrattiva dell'ardesia, polmone economico per queste zone; appare tuttavia opportuno rilevare queste situazioni, in grado di innescare condizioni di ulteriore degrado su un quadro d'insieme già piuttosto delicato.

Zone verdi artificiali non agricole

Le aree verdi urbane sono presenti nei centri abitati o nei pressi degli edifici di culto di Cicagna, Calvari, San Colombano Certenoli, ma trattandosi di minime estensioni o di pochi individui isolati, non sono state segnalate in cartografia.

TERRITORI AGRICOLI

Seminativi

I seminativi in aree irrigue (16 ha; 0,10% della superficie totale) sono rappresentati prevalentemente dai vivai, le colture ortofloricole in piena aria e in serra. Le colture protette utilizzano prevalentemente tunnel con copertura in film plastico o lastre semirigide, raramente impiegano copertura di lastre di vetro, aziende di questo tipo coltivano piante da vaso fiorito, piante da esterno e da bordura.

Si possono anche trovare colture ortofloricole in pieno campo con coltivazioni di gladioli, vivai di bambù, piccoli vivai di abeti e di altre piante da esterno presso Calvari, Pezzonasca e Isola.

Le superfici adibite a questa tipologia di colture sono abbastanza ridotte; le aziende sono a conduzione diretta e lo sbocco commerciale è orientato ai mercati locali.

Colture permanenti arboree

I frutteti (50 ha; 0,31% della superficie totale) comprendono, di fatto, solo i nocciuleti, in quanto gli altri fruttiferi, pur presenti, si trovano consociati alle colture erbacee in coltura promiscua.

La coltura della nocciola, un tempo estesa in tutta la Val Fontanabuona, ha subito negli ultimi decenni forti riduzioni come è emerso da sopralluoghi nel corso dei quali sono state riscontrate zone boscate con forte presenza di noccioli, segno evidente dell'evoluzione del nocciuleto a bosco. I nocciuleti, ancora esistenti e mantenuti in uno stato di coltivazione ordinario, sono situati nei siti più accessibili e raggiungibili che consentono la possibilità di meccanizzazione e sono esposti favorevolmente.

L'oliveto è la seconda coltura legnosa (214 ha; 1,33% della superficie totale) caratteristica della vallata; introdotta nei secoli scorsi, ma ancora oggi presente, è mantenuta in condizioni accettabili, specialmente nella parte meridionale. Questa coltura, situata in collina su terrazze che si giovano di una favorevole esposizione, è presente principalmente nella porzione bassa del bacino sino alla confluenza con il Rio Malgaro, in sinistra orografica poiché questo versante risulta esposto a Sud.

L'olivo si spinge anche ad altitudine rilevante (300-400 metri s.l.m.), si sono rinvenuti oliveti

a Costa Romaggi, Croce D'Orero, Figarolo ed in altre località dell'interno.

Gli appezzamenti sono, anche in questo caso, piccoli, frammentati ed abbastanza vicini ai centri abitati ed alle strade di comunicazione. Gli oliveti collocati nel versante Nord della Val Fontanabuona sono tra quelli più incolti e più abbandonati, forse per la minore produzione e resa in olio. Gli oliveti in condizioni migliori si trovano nel Comune di San Colombano Certenoli, nella parte più meridionale della vallata; in questi si adotta la tecnica del diserbo sistematico sotto le piante e si attua la raccolta con le reti. In altri oliveti ormai abbandonati si possono già notare fitte formazioni di eriche, di rovi e di altri arbusti che danno origine alla colonizzazione, mentre iniziano a nascere plantule di roverella o di orniello. L'olivo a differenza del nocciolo non regge la competizione con arbusti ed alberi e soccombe nel volgere di pochi anni.

Prati e pascoli

I prati e pascoli occupano una superficie di 267 ha (1,65% della superficie totale) e sono localizzati, generalmente, su terreni declivi o terrazzati, situati anche a quote elevate.

I primi sono gestiti attraverso lo sfalcio effettuato una o due volte l'anno, ossia a maggio-giugno ed a fine estate, i secondi sono pascolati direttamente da bovini e da ovini presenti in numero ormai piuttosto limitato.

Le formazioni prative si sono rilevate anche in fondovalle, formazioni piuttosto estese si sono rilevate nel Pian di Coreglia, Cicagna e alle Ferriere.

Sui versanti sono principalmente dislocate in prossimità dei centri abitati e rappresentano la variazione d'uso di superfici un tempo coltivate ed attualmente sfalciate per limitare lo sviluppo di vegetazione infestante richiedendo però un impegno in termini di manodopera contenuto.

Aree agricole eterogenee

La classe prevalente dei territori agricoli (984 ha; 6,09% della superficie totale) è rappresentata dalle zone agricole eterogenee, sono presenti nelle aree collinari in zone limitrofe ai centri abitati sono diffuse anche nelle porzioni di fondovalle, quando sulla stessa superficie si ha la coesistenza di diverse tipologie colturali (colture annuali associate a colture permanenti), oppure si rileva una superficie molto frammentata di piccoli appezzamenti ("orti per pensionati" e simili) non si può parlare di seminativi in aree non irrigue ma bensì di aree agricole eterogenee.

Questa scelta colturale è giustificata dal fatto che nella zona manca una spiccata vocazionalità e si preferisce avere una varietà assortita di prodotti agricoli da riservare all'autoconsumo, piuttosto che avere un solo prodotto in quantità maggiore da destinare alla vendita.

Ex-coltivi

I terreni non più coltivati occupano 276 ha (1,71% della superficie totale). Sono localizzati principalmente nelle zone più lontane dai centri abitati oppure in aree caratterizzate da forti limitazioni geomorfologiche (pendenze elevate che impediscono la meccanizzazione delle operazioni colturali) e/o limitazioni di carattere agronomico (ridotta fertilità dei terreni).

Le aree abbandonate vengono colonizzate dalle essenze arbustive che caratterizzano la fase transitoria che condurrà alla vegetazione climacica caratterizzata dal bosco. Le essenze arbustive possono appartenere alla macchia: il corbezzolo (*Arbutus unedo*), l'erica arborea

(Erica arborea), la salsapariglia (Smilax aspera) e l'asparago (Asparagus acutifolius); oppure compaiono specie mesofile come l'edera (Hedera helix), il biancospino (Crataegus monogyna), il prugnolo (Prunus spinosa) e il corniolo (Cornus sanguinea). In situazioni di notevole fertilità si può verificare l'insediamento di vegetazione infestante nitrofila (in particolare rovi).

TERRITORI BOSCATI ED AMBIENTI SEMINATURALI

Praterie

Sono localizzate prevalentemente nelle parti alte dei versanti, sulle creste e sulle cime dei monti, sono formazioni secondarie un tempo utilizzate per il pascolo o per lo sfalcio, ormai quasi completamente abbandonate.

Occupano una superficie di 587 ha (3,63% della superficie totale).

Zone boscate

I territori boscati (12.410 ha; 76,82% della superficie totale) inglobano tutti i territori ricoperti da latifoglie termofile, mesofile, conifere termofile e mesofile e da formazioni miste di queste essenze. Il governo è il modo con cui un bosco viene rinnovato e dipende dal tipo di propagazione delle piante; può essere:

- ⇒ **a fustaia**: riguarda solo piante originate da semi. Le piante sono costituite da un unico tronco, che viene lasciato crescere liberamente fino al momento dell'utilizzazione; dopo l'abbattimento la fustaia si rinnova per via naturale, dallo sviluppo delle piantine nate dalla disseminazione spontanea, oppure artificialmente con una nuova piantagione.
- ⇒ **a ceduo**: riguarda esclusivamente le latifoglie; quando le piante hanno raggiunto un certo sviluppo vengono tagliate periodicamente e il bosco si rinnova mediante l'emissione di polloni in corrispondenza dei tagli effettuati; la rinnovazione avviene quindi per gemma. Si parla di **ceduo matricinato** quando si rilascia qualche decina di piante d'alto fusto (matricine) ad ettaro con la funzione di sostituire le ceppaie esaurite.
- ⇒ **a ceduo composto**: quando insieme alle piante allevate a ceduo si lasciano crescere anche piante d'alto fusto in numero di qualche centinaio per ettaro.

I *cedui* possono essere trattati nei seguenti modi:

- ⌘ **ceduo a ceppaia**, se le piante vengono periodicamente (15-30 anni) tagliate rasente a terra; il taglio dei fusti (ceduazione) viene eseguito durante il riposo vegetativo delle piante al fine di favorire l'emissione di polloni radicali; sebbene le ceppaie rimangano produttive anche 150-200 anni, si presenta sempre il problema della loro reintegrazione poiché il turno troppo breve impedisce un'adeguata produzione di seme; per ovviare a questo inconveniente si esegue la matricinatura del ceduo.
- ⌘ **ceduo a capitozza**, se il taglio viene eseguito ad una certa altezza dal suolo.
- ⌘ **ceduo a sgamollo**, se è praticata la soppressione dei rami e delle branche laterali, mentre è rispettato il tratto apicale del fusto che risulta rivestito di vegetazione.

Zone caratterizzate da vegetazione arbustiva

Le zone ricoperte da vegetazione arbustiva (526 ha; 3,26% della superficie totale) includono tutte le formazioni arbustive della macchia mediterranea della zona montana e subalpina.

Zone con vegetazione rada o assente

Le zone con vegetazione rada o assente (12 ha; 0,64% della superficie totale) comprendono alcune tipologie, come le rocce nude, le aree con vegetazione rada (calanchi, conoidi detritici) e le aree percorse da incendi recenti inferiori a due anni.

Queste tipologie, evidenziate in cartografia, vedono una buona prevalenza delle rocce nude rinvenute in corrispondenza delle cime e creste più alte (M. Magliaro, 1179,20 metri; Sella del Pertuso, 1058,80 metri; Monte Montaldo, 1137,80 metri, ecc).

Come già indicato in precedenza, anche sulle rocce più inospitali, se si verificano condizioni favorevoli, si può instaurare vegetazione pioniera, come muschi e licheni nelle primissime fasi, e successivamente piante erbacee, arbustive e infine anche piccoli alberi. Questo primo insediamento di vegetazione é importante ai fini ambientali e idrogeologici.

Analisi delle superfici occupate dalle diverse categorie di uso del suolo

Dall'analisi dell'area in esame emerge una netta prevalenza dei territori boscati ed ambienti seminaturali (83,71%) rispetto alle altre possibili destinazioni d'uso. Il bacino appare sostanzialmente coperto da boschi (76,82%); l'intervento dell'uomo interessa superfici limitate principalmente nei fondovalle del torrente Lavagna e degli affluenti, con una certa estensione delle attività agricole (9,48%) e superfici molto limitate (3,65%) modellate artificialmente dall'uomo.

Indice di efficienza idrogeologica

L'indice di efficienza idrogeologica, associato alle diverse tipologie di uso del suolo, esprime, mediante un giudizio numerico, una valutazione sintetica e qualitativa sulla funzionalità delle diverse categorie di uso del suolo. L'indice assume una rilevante importanza nella difesa del suolo in quanto associa all'informazione sulla distribuzione delle diverse tipologie, un'informazione specifica sulla capacità di regimazione delle acque e di controllo dell'erosione superficiale da parte della copertura del suolo.

L'indice d'efficienza idrogeologica, riferito alla singola categoria di uso del suolo, viene assegnato sulla base delle seguenti valutazioni preliminari:

1. stratificazione della struttura verticale della fitocenosi e copertura del suolo;
2. stabilità fisica del soprassuolo, sulla base della densità del soprassuolo arboreo ed il rapporto tra altezza e diametro degli individui;
3. presenza/assenza di fenomeni di erosione concentrata.

1. Stratificazione della struttura verticale della fitocenosi e copertura del suolo

Valutazione del grado di protezione dell'acqua battente e dilavante derivato dai valori percentuali di copertura dei diversi strati di vegetazione (a: arboreo, b: arboreo inferiore, c: arbustivo, d: erbaceo, e: muscinale) secondo il metodo di Pirola-Montanari-Credaro (1980) modificato come segue:

Indice di protezione dall'acqua cadente (Fe):

Copertura media % strati a+b+c+d+e	Indice	Protezione
>151	1	buona
101-150	2	discreta

1-100	3	ridotta
-------	---	---------

Indice di protezione dall'acqua dilavante (Pd):

Copertura media % strati d+e	Indice	Protezione
>61	1	buona
31-60	2	discreta
1-30	3	ridotta

2. Stabilità fisica del soprassuolo, sulla base della densità del soprassuolo arboreo ed il rapporto tra altezza e diametro degli individui

- a) densità del soprassuolo arboreo da normale a rada, sia in fustaia che ceduo con $Hm < 100 Dm$ (Hm = altezza media del soprassuolo dominante; Dm = diametro medio del soprassuolo dominante);
- b) densità del soprassuolo arboreo da alta a molto alta sia in fustaia che in ceduo con $Hm \geq 100 Dm$.

3. Presenza/assenza di fenomeni di erosione concentrata

- a) assenza di erosione o erosione idrica incanalata con rigagnoli e canaletti di erosione, scarsi e profondi pochi centimetri;
- b) erosione incanalata moderata, contraddistinta da canaletti e rigagnoli che non superano i 20-40 centimetri di profondità o piccoli movimenti franosi superficiali di pochi metri quadri di superficie e di profondità inferiore ad 1 metro ed interessano meno di un terzo della superficie;
- c) erosione idrica incanalata e movimenti franosi superiori a quanto indicato nel punto precedente.

Dalla somma dell'indice di protezione dell'acqua cadente (Fe) e dell'acqua dilavante (Pd) si ottiene il grado di protezione.

Il valore finale di efficienza idrogeologica (Id) si determina a seconda della maggiore o minore influenza dei punti 2 e 3 sopra analizzati.

I valori di efficienza idrogeologica calcolati sono stati raggruppati secondo le seguenti classi:

1	alta	$2 \leq Id \leq 3$
2	media	$3 < Id \leq 5$
3	bassa	$Id > 5$

Funzionalità idrogeologica delle classi d'uso del suolo del torrente Lavagna

Le categorie di uso del suolo alle quali è stato attribuito un indice di efficienza idrogeologica coprono 154,26 Km², ossia il 95,49% del totale.

Nella tabella sottoriportata è indicata la ripartizione della superficie del territorio nelle tre classi di efficienza in Km², ha ed in percentuale.

funzionalità	superficie (Km ²)	superficie (ha)	%
alta	121.23	12.123	75.04
media	20.17	2.017	12.49
bassa	12.86	1.286	7.96

Gli arbusteti spesso sono derivanti da formazioni pascolive per nulla utilizzate e quindi in evoluzione verso il climax rappresentato dal bosco l'indice di efficienza attribuito è medio.

Le formazioni vegetazionali con funzionalità idrogeologica maggiore sono rappresentate dalle formazioni boscate ad angiosperme anche se a causa del regime di abbandono delle attività selvicolturali di utilizzazione i polloni presenti sulle ceppaie raggiungono elevate dimensioni con ridotta stabilità fisica; questa instabilità fisica rappresenta un rischio per l'assetto dei versanti, in quanto si determinano frequenti situazioni di sradicamento di intere ceppaie, che determinano, a loro volta, fenomeni di erosione accelerata ed incanalata preliminari a fenomeni franosi di maggiori proporzioni.

Le formazioni a pino marittimo risultano avere, prevalentemente una funzionalità media, in quanto pur offrendo una buona protezione all'azione battente dell'acqua hanno un effetto ridotto nei confronti dell'azione dilavante dell'acqua a causa dell'assenza di sottobosco dovuta all'acidificazione del terreno indotta dalla degradazione degli aghi.

Le praterie presenti in quantità piuttosto esigua sono caratterizzate da valori di funzionalità medi in quanto sono caratterizzate da un cotico ben sviluppato e privo di soluzioni di continuità che offre una buona difesa all'azione battente e dilavante dell'acqua.

Gli ex coltivi in seguito all'affermazione di vegetazione spontanea sono caratterizzati dall'evoluzione del soprassuolo verso forme più stabili ed in maggiore equilibrio con l'ambiente, con migliori condizioni di funzionalità idrogeologica.

Dove l'attività agricola è cessata da minor tempo ed i terreni sono ricchi di sostanza organica proliferata la vegetazione nitrofila caratterizzata prevalentemente da rovi con un'efficienza idrogeologica mediocre.

Le colture eterogenee ed i seminativi hanno un indice di efficienza bassa a causa della scarsa protezione esercitata nei confronti dell'acqua cadente e dilavante.

2.6 Descrizione della rete idrografica

Il reticolo idrografico del bacino è sostanzialmente controllato da lineazioni tettoniche a direzione appenninica ed antiappenninica, grosso modo perpendicolari tra di loro, su cui si sono impostati il Torrente Lavagna ed i suoi principali affluenti. Quindi la distribuzione delle grandi valli antiche è legata, almeno in parte, ad importanti direttrici tettoniche.

È inoltre assai evidente la stretta correlazione con le sensibili variazioni dell'assetto del reticolo idrografico, a loro volta ricollegabili alle variazioni dei livelli di base sia generali sia locali (ed in particolare, data la velocità relativa del fenomeno, per casi di cattura) connesse all'evoluzione geomorfologica pleistocenica ed ai fenomeni tettonici.

La sezione tipica longitudinale del Torrente Lavagna presenta numerose variazioni di acclività a partire dallo spartiacque appenninico: si osservano in particolare più di sei rotture di pendenza, a delimitare diversi pianori morfologici (Brancucci et al., 1988).

Un'altra significativa caratteristica del corso d'acqua è la presenza di meandri incassati lungo tutto lo sviluppo del fondovalle principale. Questo fenomeno si spiega con l'abbassamento del livello erosivo di base del fiume, in seguito al quale i meandri tendono ad incassarsi. Nel

fondovalle si individuano, in corrispondenza dei lobi di meandro, delle creste che fungono da spartiacque locale. Tali creste conservano nel proprio profilo longitudinale un gradino suborizzontale a testimonianza dell'antico fondovalle pianeggiante. Nel caso di un rimodellamento spinto, tale gradino sarà naturalmente demolito.

✚ Il Torrente Lavagna scorre, dalle sorgenti fino alla confluenza con il Rio di Vallebuona, in una valle orientata indicativamente NE-SW. In questo primo tratto presenta un percorso ripido, incassato tra le rocce, con pendenza media di circa 15.5%. Prosegue poi piegando leggermente verso SE fino a Ferriere da dove l'andamento del suo corso prende decisamente la direzione NW-SE, che mantiene fino alla confluenza, sulla sinistra orografica, con il Torrente Sturla (chiusura del bacino). Scendendo verso valle la pendenza diminuisce oscillando nei vari tratti dal 2% all'8% mentre il torrente descrive ampie anse. A partire dall'abitato di Gattorna iniziano, alternate a tratti con sponde rocciose, le zone alluvionali pianeggianti.

✚ Nel suo primo tratto, dalle sorgenti alla località Ferriere, il Torrente Lavagna non riceve tributari importanti ad esclusione del Rio di Vallebuona e del Rio delle Ferriere, ambedue sulla destra orografica. Nel secondo tratto, che rappresenta l'asta principale del torrente, esso riceve sempre sulla destra orografica, il Rio di Lumarzo, il Torrente Litteggia, il Rio della Bolle, il Rio Pendola, il Fosso di Roncazzi, il Fosso di Camposasco ed altri numerosi corsi d'acqua di minore importanza.

✚ Gli affluenti principali del Torrente Lavagna sono, però, tutti situati in sponda orografica sinistra in conseguenza della maggiore estensione del versante sinistro rispetto a quello destro. In questo tratto e su questa sponda il Torrente Lavagna riceve, da monte verso valle come principali affluenti il Rio d'Urri, il Torrente Neirone, il Canale di Moconesi, il Torrente Malvaro ed il Canale d'Isolona.

Ai fini di predisporre uno strumento utile alla pianificazione di bacino, si riporta, di seguito, la gerarchizzazione del reticolo idrografico del torrente Bisagno, ottenuta applicando lo schema di Horton rivisitato da Strahler (1957). La gerarchizzazione, seppure non direttamente utilizzata nei calcoli idrologici, contribuisce alla caratterizzazione geometrica, morfologica ed idraulica del reticolo idrografico.

Si è quindi rappresentato il reticolo idrografico stesso attraverso una serie di segmenti, interconnessi da nodi; si sono definiti in particolare i "rami sorgenti", cioè i tratti che drenano esclusivamente i versanti e che non hanno reticolo a monte: ad essi si è attribuito l'ordine gerarchico 1. E' stato quindi attribuito un ordine a tutti i successivi "links" del reticolo, utilizzando le seguenti regole:

- il ramo che nasce dall'unione di due rami di uguale ordine " n " assume ordine " $n+1$ ";
- il ramo che nasce dall'unione di due rami di ordine diverso assume ordine pari al maggiore degli ordini dei rami confluenti;
- l'ordine del bacino è il maggiore ordine fra gli ordini dei rami.

Si è poi proceduto al calcolo dei principali elementi morfometrici relativi ai diversi sottobacini.

Sono stati in particolare individuati 2663 aste, con ordine gerarchico compreso tra 1 e 7. Di seguito sono riportate le principali grandezze per i vari ordini delle aste fluviali, così come determinato dalla gerarchizzazione sviluppata.

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
1	1990	3.8	2509	9534	1434	2.8		4919.6	1

2	519	4.4	636	2798	323	2.8	1757	1106	1.6
3	117	4.2	145	609	72	2.6	395	236.6	1.6
4	28	4.7	34	160	19	3.2	91	80	1.5
5	6	3	8	24	6	3	25	24	0
6	2	2	3	6	2	2	8	6	0
7	1				1		3		

dove:

- a) u : numero d'ordine.
- b) Nu : numero dei segmenti fluviali di ordine u (**frequenza**).
- c) Rb : **rapporto di biforcazione**, ossia il rapporto tra il numero dei segmenti fluviali di un dato ordine ed il numero dei segmenti dell'ordine immediatamente successivo.
- d) $Nu+(Nu+1)$.
- e) $c \times d$.
- f) Nd : numero dei segmenti fluviali di un dato ordine che influiscono in segmenti dell'ordine immediatamente superiore (**frequenza diretta**).
- g) Rbd : **rapporto di biforcazione diretta** ossia il rapporto tra il numero dei segmenti fluviali di un dato ordine che influiscono in segmenti dell'ordine immediatamente superiore ed il numero di questi ultimi.
- h) $Ndu+(Ndu+1)$.
- i) $g \times h$.
- j) R : **indice di biforcazione** ossia la differenza tra il valore del rapporto di biforcazione e quello del valore del rapporto di biforcazione diretto.

L'asse principale del bacino del Torrente Lavagna è parallelo all'asse della grande struttura anticlinale coricata e Nord-vergente che caratterizza questo lembo di territorio. Nella struttura del reticolo idrografico è evidente la forte asimmetria.

Il versante Sud, arealmente poco esteso, si presenta generalmente acclive e con corsi d'acqua aventi ridotto sviluppo lineare ed allungati prevalentemente in direzione perpendicolare all'asse del Torrente Lavagna, con ordine massimo pari a quattro. Il versante, su cui affiorano generalmente strati a franapoggio, è impostato su terreni della formazione dei Calcari di Monte Antola, della formazione della Val Lavagna (scisti argillosi verso il fondo valle ed ardesie sul medio versante) e della formazione delle Argille del Lago di Giacomiane.

Il versante Nord, molto più esteso, presenta una maggiore organizzazione del reticolo idrografico con aste del sesto ordine e segmenti fluviali del quinto ordine nelle parti sommitali.

Questo versante, altrettanto acclive rispetto a quello Sud, presenta, in linea di massima, giaciture a franapoggio nella parte alta ed a reggipoggio nella parte inferiore (in modo concorde al fianco rovesciato della piega). Su questo versante affiorano terreni degli Scisti della Val Lavagna (argilliti ed ardesie), della formazione di Ronco (argiloscisti) e le Arenarie del Monte Gottero.

Dall'analisi della tabella riassuntiva si ottengono utili informazioni rappresentative del reticolo fluviale per l'intero bacino.

Il Rapporto di Biforcazione (Rb) corrisponde al rapporto fra il numero dei segmenti fluviali di un dato ordine e quello dell'ordine immediatamente successivo.

I valori così ottenuti offrono una prima indicazione dell'organizzazione gerarchica del reticolo fluviale: a valori elevati dovrebbero corrispondere bassi gradi di gerarchizzazione dei reticoli; al valore 2 dovrebbe corrispondere una struttura del reticolo perfettamente gerarchizzata.

La media dei Rb relativi alle varie coppie d'ordini può essere calcolata come media aritmetica o come media ponderata; per il bacino in esame risulta:

$$Rb = 3.6 \text{ (media aritmetica); } Rb^{\circ} = 3.9 \text{ (media ponderata).}$$

La media ponderata, secondo diversi Autori, sembra la più adatta a fornire una stima della situazione "media", poichè nel computo del parametro si tiene conto dell'incidenza quantitativa dei segmenti di diverso ordine che intervengono nel calcolo dei Rb parziali.

I due valori sopra riportati, che non si discostano molto l'uno dall'altro, indicano un reticolo mediamente gerarchizzato. Evidenze di maggiore organizzazione si riscontrano nei settori più elevati dei versanti, specie quello Nord (fenomeni di cattura), mentre la presenza di corsi d'acqua spesso inforati e di anse meandriche incassate, nel collettore principale, induce a considerare quello attuale come uno stadio dovuto a ringiovanimento.

Più indicativo del precedente è il Rapporto di Biforcazione Diretta (Rbd), ottenuto dal rapporto fra il numero dei segmenti fluviali di un dato ordine che influiscono nell'ordine immediatamente superiore, ed il numero di questi ultimi.

Anche il valore del Rapporto di Biforcazione Diretta (Rbd) per l'intero bacino viene espresso tramite le due medie in precedenza discusse:

$$Rbd = 2.7 \text{ (media aritmetica); } Rbd^{\circ} = 2.8 \text{ (media ponderata).}$$

Questi valori sono, in linea generale, non particolarmente alti ed esprimono un indizio di gerarchizzazione non elevata.

L'Indice di Biforcazione (R) permette di confrontare tutti i segmenti del reticolo con quelli collegati in regolare successione. Il parametro mette quindi in risalto l'importanza delle influenze anomale e si ricava dalla differenza Rb-Rbd.

I valori delle due medie dell'Indice di Biforcazione (R) del bacino sono:

$$R = 1 \text{ (media aritmetica); } R^{\circ} = 1.1 \text{ (media ponderata).}$$

Anche questi valori sono da considerarsi nella media del parametro (che varia generalmente tra 0.2 e 2).

Un altro parametro importante per la caratterizzazione della rete idrografica è la Densità di Drenaggio (D), espressa dal rapporto tra la lunghezza totale di tutti i segmenti fluviali, espressa in chilometri, e l'area totale del bacino, espressa in chilometri quadrati.

Per il bacino del Torrente Lavagna è $D=5$. Il territorio in questione presenta, in pratica, una media densità idrografica, dovuta al fatto che la gran parte del territorio è costituita da litotipi scistosi e/o marno-argillosi relativamente facili da erodere ma ricoperti da una fitta vegetazione.

2.7 Idrologia di piena

Climatologia e idrologia del bacino

Il bacino del Lavagna è situato nella Liguria orientale e si estende tra le latitudini 44°20' e 44°29' e le longitudini 9°5' e 9°21' est di Greenwich; la superficie del bacino si sviluppa per un'estensione di poco oltre 160 km² in direzione Ovest-Est; una marcata orografia, costituita

dai rilievi appenninici, delimita il bacino nella parte settentrionale, mentre a Sud uno spartiacque meno pronunciato lo separa dai bacini che si immettono direttamente sul litorale ligure. Il clima, pur influenzato dalla presenza della catena appenninica e dall'orientamento parallelo alla linea di costa, risulta comunque di tipo temperato caldo o sublitoraneo, protetto dal clima più continentale delle regioni confinanti a Nord e beneficamente influenzato dalla funzione termoregolatrice del mare. La temperatura media annua è compresa tra i 12°C dell'alto bacino e i circa 14°C nella regione prossima alla confluenza nel fiume Entella.

La particolare conformazione geografica del bacino determina una diversa esposizione alle perturbazioni meteorologiche che, normalmente, investono il litorale ligure associata alla presenza in una fascia di territorio così ristretta da un'orografia marcata a ridosso della costa, determinano le principali caratteristiche spazio-temporali del regime pluviometrico. L'ampia variabilità spaziale delle precipitazioni, comprese tra i circa 1500 mm annui a ridosso dello spartiacque meridionale delle zone occidentali e i 2000 mm della zona appenninica, risulta caratterizzata sostanzialmente da un unico tipo pluviometrico, quello sublitoraneo, che determina l'andamento stagionale delle piogge. La distribuzione degli afflussi meteorici nell'arco dell'anno presenta, in pratica, due massimi, uno primaverile ed uno autunnale, e due minimi, uno estivo ed uno invernale. Le perturbazioni autunnali, in particolare, dovute alla formazione di aree depressionarie sul Mar Ligure e, più in generale, sull'Alto Tirreno, sono responsabili delle piogge più intense e degli eventi critici per molti dei corsi d'acqua della regione.

Stazioni di Misura

Le caratteristiche climatiche sopra evidenziate emergono dall'analisi delle osservazioni termometriche e pluviometriche rilevate nelle stazioni dislocate sul territorio del levante genovese, fino alla provincia della Spezia. In particolare, per l'intero periodo per il quale sono stati reperiti i dati e per ciascuna stazione, termometrica o pluviometrica, sono stati elaborati i dati di temperatura e precipitazione a scala mensile, identificando gli andamenti caratteristici su base mensile e su base annua. I risultati dell'analisi statistica sono stati utilizzati per la determinazione dell'andamento spaziale delle isoterme e delle isoiete medie mensili, secondo una base georeferenziata a maglia regolare avente il lato di 1 km.

Le elaborazioni statistiche condotte hanno, tuttavia, richiesto una preventiva valutazione dei dati utilizzati. In particolare, è stato necessario valutare l'opportunità di considerare nell'analisi i dati relativi a quelle stazioni caratterizzate da un numero limitato di anni di osservazione. A questo proposito si è ritenuto opportuno fissare alcuni criteri per la selezione delle stazioni da utilizzare per l'elaborazione degli andamenti spaziali che possono essere così riassunti:

- *ente di appartenenza: a garanzia della qualità dei dati sono state considerate esclusivamente le stazioni censite dal Servizio Idrografico, i cui dati siano pubblicati con regolarità negli Annali Idrologici, con l'obiettivo di affidarsi a dati raccolti e validati secondo procedure standard;*
- *numerosità del campione: si è ritenuto di fissare un minimo numero di 10 anni di osservazione quale limite di significatività ai fini dell'elaborazione degli andamenti medi mensili;*
- *copertura del territorio: sono state eliminate le stazioni sovrabbondanti ai fini dell'analisi spaziale;*

- *continuità operativa: in presenza di informazioni ridondanti sono state privilegiate le stazioni ancora funzionanti;*
- *omogeneità del periodo di osservazione: in presenza di informazioni ridondanti sono state privilegiate le stazioni che presentassero periodi di funzionamento comuni.*

Ricorrendo ad un'intersezione tra questi criteri (i.e., la migliore distribuzione spaziale delle stazioni ancora attive e caratterizzate dalla più alta numerosità del campione in periodi omogenei) è possibile, in teoria, definire il quadro ottimale delle stazioni termometriche e pluviometriche utili ai fini dell'analisi. In pratica, stante la complessa situazione della rete idrometeorologica dell'intero territorio nazionale e dunque anche della Liguria, il problema della selezione delle stazioni si è posto nella maggior parte dei casi solamente a proposito della numerosità del campione.

Seguendo i criteri appena esposti le stazioni selezionate per l'indagine climatologica sono risultate, in definitiva, quelle elencate in Tabella 4.1 (temperatura) e Tabella 4.2 (precipitazione), dove sono anche riportate le caratteristiche essenziali relative all'ubicazione delle stazioni. La Tabella 4.3 e la Tabella 4.4 riportano invece i valori medi mensili e il valore medio annuale rispettivamente per le stazioni di temperatura e precipitazione.

TABELLA 4.1

CARATTERISTICHE E UBICAZIONE DELLE STAZIONI DI RILEVAMENTO DELLA TEMPERATURA
CONSIDERATE NELL'ANALISI CLIMATOLOGICA

Id. SII	Stazione ⁽¹⁾	Prov.	Comune	Bacino	Lat. N	Lg. ⁽²⁾ E	Quota
2097	Genova U.	GE	Genova	tra Polcevera e Bisagno	4934738	1513270	21
2111	Genova S.I.	GE	Genova	Bisagno (Canate)	4931042	1515926	2
2117	Colonia A.	GE	Uscio	tra Bisagno e Entella	4925528	1527868	600
2119	S.Margherita L.	GE	S.Margherita L.	tra Bisagno e Entella	4931094	1530493	3
2122	Chiavari	GE	Chiavari	tra Bisagno e Entella	4925477	1510638	5
2127	Neirone	GE	Neirone	Entella (Neirone)	4916212	1504017	332
2131	Tigliolo	GE	Borzonasca	Entella (Sturla)	4918076	1513304	293
2132	Giacopiane	GE	Borzonasca	Entella (Sturla)	4910677	1515976	1016
2134	San Michele	GE	Borzonasca	Entella (Penna)	4908829	1517309	170
2137	Cichero	GE	S. Colombano C.	Entella (Cicagna)	4907004	1525289	480
2138	Statale	GE	Nè	Entella (Graveglia)	4916218	1509326	570
2147	Levanto	SP	Levanto	tra Entella e Magra	4918069	1509323	2
2152	La Spezia	SP	La Spezia	tra Entella e Magra	4918071	1510650	5
2186	Varese L.	SP	Varese L.	Magra (Vara)	4919927	1513300	347
2189	Tavarone	SP	Maissana	Magra (Torza)	4923633	1514618	603
2192	S. Margherita	SP	Sesta Godano	Magra (Vara)	4921796	1519927	200
2194	Mattarana	SP	Carrodano	Magra (Vara)	4916250	1522599	590
2200	Calice al C.	SP	Calice al C.	Magra (Vara)	4912568	1527924	402

Note:

- (1) In corsivo sono indicate le stazioni interne al bacino del Lavagna.
- (2) I valori sono riferiti al meridiano di Greenwich.

TABELLA 4.2
CARATTERISTICHE E UBICAZIONE DELLE STAZIONI DI RILEVAMENTO DELLA PRECIPITAZIONE
CONSIDERATE NELL'ANALISI CLIMATOLOGICA

Id. SII	Stazione ⁽¹⁾	Prov.	Comune	Bacino	Lat. N	Lg. ⁽²⁾ E	Quota
1680	Bavastrelli	GE	Torriglia	Trebbia (Brugneto)	4934738	1513270	960
1686	Diga d. Brugneto	GE	Torriglia	Trebbia (Brugneto)	4931042	1515926	812
1702	Cabanne	GE	Rezzoaglio	Trebbia (Aveto)	4925528	1527868	812
1704	Rezzoaglio	GE	Rezzoaglio	Trebbia (Aveto)	4931094	1530493	715
2098	Scoffera	GE	Torriglia	Bisagno	4925477	1510638	678
2112	S. Ilario	GE	Genova	tra Bisagno e Entella	4916212	1504017	210
2117	Colonia A.	GE	Uscio	tra Bisagno e Entella	4918076	1513304	600
2118	S.Pietro di N.	GE	Rapallo	tra Bisagno e Entella	4910677	1515976	13
2119	S.Margherita L.	GE	S.Margherita L.	tra Bisagno e Entella	4908829	1517309	3
2122	Chiavari	GE	Chiavari	tra Bisagno e Entella	4907004	1525289	5
2123	<i>Cornua</i>	GE	Lumarzo	Entella (Lavagna)	4916218	1509326	622
2124	<i>Pannesi</i>	GE	Lumarzo	Entella (Lavagna)	4918069	1509323	535
2125	<i>Mad.d.Bosco</i>	GE	Lumarzo	Entella (Lavagna)	4918071	1510650	376
2126	<i>Ognio</i>	GE	Neirone	Entella (Lavagna)	4919927	1513300	400
2127	<i>Neirone</i>	GE	Neirone	Entella (Neirone)	4923633	1514618	332
2128	<i>Favale d. M.</i>	GE	Favale d. M.	Entella (Malvaro)	4921796	1519927	380
2129	<i>Piana di S.</i>	GE	Oroero	Entella (Lavagna)	4916250	1522599	75
2130	<i>S. Martino d. Monte</i>	GE	Carasco	Entella (Lavagna)	4912568	1527924	309
2131	Tigliolo	GE	Borzonasca	Entella (Sturla)	4921831	1529210	293
2132	Giacopiane	GE	Borzonasca	Entella (Sturla)	4923695	1531853	1016
2134	S.Michele	GE	Borzonasca	Entella (Penna)	4919992	1531871	170
2137	Cichero	GE	S. Colombano C.	Entella (Cicagna)	4918112	1525246	480
2138	Statale	GE	Ne'	Entella (Graveglia)	4910764	1537230	570
2139	Chiesanuova G.	GE	Ne'	Entella (Graveglia)	4910729	1530588	110
2140	Panexi	GE	S. Salvatore	Entella	4910717	1527931	25
2143	Castiglione Chiav.	GE	Castiglione Chiav.	tra Entella e Magra	4901531	1541274	300
2146	Montale di L.	SP	Levanto	tra Entella e Magra	4892330	1549326	149
2147	Levanto	SP	Levanto	tra Entella e Magra	4890479	1549339	2
2151	Portovenere	SP	Portovenere	tra Entella e Magra	4879511	1565440	20
2152	La Spezia	SP	La Spezia	tra Entella e Magra	4883213	1565404	5

Note:

- (1) In corsivo sono riportate le stazioni interne al bacino del Lavagna.
(2) I valori sono riferiti al meridiano di Greenwich.

TABELLA 4.3
VALORI MEDI MENSILI E MEDIO ANNUALE DELLA TEMPERATURA PER LE STAZIONI
CONSIDERATE NELL'ANALISI CLIMATOLOGICA

Stazione ⁽¹⁾	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Anno
-------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------

Piano di bacino del torrente LAVAGNA
RELAZIONE GENERALE

Stazione ⁽¹⁾	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Anno
Genova U.	8.6	8.7	11.3	13.7	17.1	20.8	24.0	23.9	21.4	17.6	12.5	10.1	15.8
Genova S.I.	7.0	8.5	10.7	12.6	16.3	19.2	22.5	20.8	19.0	16.4	12.1	8.1	14.2
Colonia A.	5.4	5.5	7.7	10.0	13.7	17.9	20.6	20.5	18.0	14.6	9.7	7.2	12.6
S.Margherita L.	3.9	5.6	7.5	9.5	14.7	18.9	20.9	20.2	16.7	13.3	7.9	5.0	11.4
Chiavari	8.5	8.9	11.1	13.4	16.9	20.5	23.6	23.2	20.5	16.8	11.3	9.8	15.4
Neirone	6.3	6.3	8.6	11.1	14.6	18.8	20.5	21.0	18.6	14.7	9.7	7.2	12.9
Tigliolo	6.9	7.4	9.5	11.9	15.1	18.9	21.4	20.7	17.8	14.3	10.1	8.0	13.6
Giacopiane	3.4	3.7	5.6	7.8	11.7	15.7	19.1	18.7	16.1	12.5	7.1	4.7	10.4
San Michele	6.0	7.5	9.2	11.8	15.3	18.4	20.8	20.7	17.8	15.0	10.2	7.2	13.3
Cichero	5.9	6.2	8.4	11.4	15.4	19.5	22.3	21.6	18.8	14.8	10.0	7.2	13.3
Statale	5.9	6.4	8.3	10.7	15.3	19.4	22.5	22.5	19.4	15.2	9.3	7.3	13.5
Levanto	8.3	8.7	10.6	13.2	16.6	20.5	23.1	23.3	20.6	17.2	12.7	10.0	15.4
La Spezia	8.4	8.6	10.9	13.5	17.4	21.1	24.1	24.0	21.2	17.7	12.1	9.7	15.6
Varese L.	3.4	3.8	6.1	8.9	13.0	16.5	19.8	19.3	16.4	12.7	7.4	4.4	10.9
Tavarone	4.6	5.0	7.4	9.8	14.2	17.8	21.0	20.6	17.9	14.0	8.6	6.2	12.3
S. Margherita	4.5	3.6	6.3	10.6	15.1	18.9	22.4	20.9	17.3	12.9	7.7	5.0	12.0
Mattarana	4.9	6.4	8.0	9.6	14.0	17.9	20.1	20.0	16.2	13.3	8.5	6.2	11.9
Calice al C.	7.0	6.7	9.6	12.0	15.7	19.4	22.6	22.8	19.5	15.7	10.3	8.0	14.0

Nota:

(1) In corsivo le stazioni interne al bacino del Lavagna.

TABELLA 4.4
VALORI MEDI MENSILI E ANNUALE DELLA PRECIPITAZIONE PER LE STAZIONI CONSIDERATE
NELL'ANALISI CLIMATOLOGICA

Stazione ⁽¹⁾	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Anno
Bavastrelli	279.1	187.9	200.8	149.1	150.9	87.7	62.6	149.5	135.6	365.7	196.5	190.0	2155.3
Diga d. Brugnato	206.0	141.9	181.2	166.2	121.7	116.7	52.5	93.6	123.2	245.1	165.8	185.7	1799.6
Cabanne	250.6	159.0	212.7	171.8	157.6	106.3	69.7	116.3	147.3	313.8	193.0	195.6	2084.1
Rezzoaglio	197.0	141.3	206.0	177.0	173.7	137.0	98.7	39.3	120.0	157.7	177.0	176.3	1801.0
Scoffera	157.8	147.1	159.5	171.2	147.0	97.0	64.4	107.0	140.0	219.7	236.6	195.7	1862.4
S. Ilario	144.4	105.1	113.1	95.5	90.8	59.8	35.9	61.4	109.1	166.0	169.3	136.3	1289.6
Colonia A.	195.5	159.2	190.9	161.0	136.6	92.6	56.3	97.8	128.5	226.5	242.1	200.9	1888.0
S.Pietro di N.	145.8	127.9	123.5	100.6	85.6	62.4	49.2	76.9	129.3	197.4	188.7	144.6	1414.7
S.Margherita L.	145.0	130.9	120.4	105.1	82.3	67.1	41.1	87.3	118.7	183.4	195.9	155.8	1432.8
Chiavari	109.8	98.2	96.3	83.0	70.9	58.0	37.3	60.9	98.5	156.0	138.5	122.4	1121.2
Cornua	210.7	175.2	318.1	107.2	105.5	70.5	36.5	90.3	109.7	116.5	182.3	119.5	1648.7
Pannesi	264.6	157.6	129.9	138.9	143.4	85.2	58.3	119.6	100.8	163.3	187.9	181.5	1730.8
Mad.d.Bosco	249.1	198.5	139.7	132.4	134.6	85.0	47.6	119.2	153.2	156.8	223.8	143.3	1717.5
Ognio	222.4	189.5	192.1	188.3	135.3	98.1	69.2	109.1	153.3	257.8	294.4	214.2	2123.7
Neirone	192.6	165.0	165.8	154.7	125.1	95.3	63.9	99.4	140.2	229.0	238.2	175.2	1875.4
Favale d. M.	160.5	126.6	131.1	126.5	119.8	84.0	74.6	99.5	136.5	219.3	227.4	164.7	1699.8
Piana di S.	164.8	142.7	151.9	129.4	104.3	78.8	57.2	90.5	133.1	202.8	206.1	195.4	1719.7
S. Martino d. M.te	131.6	115.2	113.7	107.4	84.6	65.6	50.0	81.8	118.6	178.4	157.7	135.0	1348.0
Tigliolo	182.1	166.2	171.5	148.3	127.4	94.0	69.2	94.8	167.3	221.9	232.3	201.9	1870.8

Stazione ⁽¹⁾	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Anno
Giacopiane	174.1	158.4	166.7	162.2	148.1	105.2	88.0	114.8	172.4	246.2	249.5	194.4	1980.0
S.Michele	150.3	131.8	133.0	122.0	103.2	78.7	67.6	91.9	113.7	183.7	179.3	227.1	1585.5
Cichero	225.3	176.0	175.7	137.1	132.2	102.1	78.8	121.9	173.3	232.4	203.5	173.1	1931.4
Statale	229.4	219.5	202.8	179.1	132.7	91.9	83.7	105.9	158.1	234.2	269.5	240.5	2199.4
Chiesanuova G.	152.3	135.9	137.5	120.8	101.9	69.0	59.4	90.4	146.1	196.7	191.1	167.7	1569.0
Panexi	110.5	107.0	102.0	91.0	80.4	58.6	41.6	60.9	87.4	140.0	134.4	121.0	1134.7
Castiglione Chiav.	138.6	127.7	115.1	99.0	80.7	57.2	36.9	78.5	111.8	153.7	163.0	135.7	1314.7
Montale di L.	125.9	118.0	112.1	100.3	77.5	58.3	30.3	56.8	103.3	159.4	135.7	135.0	1212.5
Levanto	103.8	93.9	90.0	84.9	66.2	49.0	28.5	63.7	88.2	147.2	120.3	118.7	1054.3
Portovenere	85.0	88.9	79.5	71.0	58.0	45.1	27.5	41.9	76.0	94.7	120.7	105.4	898.2
La Spezia	121.2	111.8	93.0	83.2	63.7	44.0	25.9	46.5	82.0	137.7	133.6	135.3	1091.8

Nota: (1) In corsivo le stazioni interne al bacino del Lavagna.

Distribuzione Mensile della Precipitazione e della Temperatura a Scala Locale e Distribuita

Le osservazioni termometriche e pluviometriche puntuali relative ad ogni stazione sono state elaborate ai fini dell'individuazione di una distribuzione spaziale delle temperature e delle precipitazioni (campi di temperatura e di precipitazione) in grado di identificare in modo sintetico un quadro climatico di riferimento orientato alla valutazione della disponibilità di risorse idriche nel territorio in esame. A questo scopo, per la stima dei campi di precipitazione (e di temperatura) in luogo delle tecniche tradizionali, basate essenzialmente su criteri di media aritmetica, di pesatura dei valori osservati o sul tracciamento delle isoiete attraverso un'interpolazione lineare dei valori rilevati nelle varie stazioni considerate, sono state utilizzate procedure di interpolazione stocastica, meglio note sotto il nome di procedure di kriging. Il vantaggio di questo tipo di procedura consiste essenzialmente nella possibilità di ottenere congiuntamente alla stima del campo di precipitazione anche una valutazione quantitativa dell'errore commesso attraverso tale stima.

Nel seguito sono sinteticamente descritte le due differenti metodologie di stima:

-  le tecniche tradizionali di interpolazione spaziale;
-  le tecniche di interpolazione stocastica.

Tecniche Tradizionali di Interpolazione Spaziale

Tra i metodi tradizionali uno è quello delle isoiete che consiste nell'individuazione sul territorio di curve di isoprecipitazione (isoiete) ottenute da interpolazione lineare tra i valori rilevati in diverse stazioni. Tale operazione è fortemente condizionata da elementi di giudizio soggettivo dell'operatore, soprattutto riguardo alla notevole influenza che le condizioni topografiche locali possono esercitare sull'effettivo andamento spaziale del campo di pioggia.

In alternativa al tracciamento delle isoiete sono di frequente utilizzati metodi di pesatura delle osservazioni di precipitazione rilevate nelle diverse stazioni. La stima del campo di pioggia è quindi effettuata semplicemente valutando la media aritmetica delle piogge rilevate all'interno dell'area esaminata, oppure ipotizzando che la superficie rappresentativa del campo sia costituita da elementi piani di forma triangolare, i cui vertici coincidono con i valori osservati.

Analogo a quest'ultimo metodo è il metodo dei topoi, noto come metodo dei poligoni di Thiessen, basato sull'ipotesi empirica che in qualunque punto dell'area considerata il valore

della precipitazione sia pari a quello della stazione osservata più vicina. Determinata quindi l'area di competenza di ciascuna stazione in base ad una costruzione geometrica il campo di pioggia sull'area considerata risulta dalla media ponderale delle osservazioni delle singole stazioni, caratterizzate da pesi proporzionali alle relative aree di competenza. Pur caratterizzandosi come il metodo tradizionale probabilmente più affidabile, il metodo dei poligoni di Thiessen si presenta tuttavia poco flessibile, poiché l'area di competenza di ciascun pluviometro risulta fissata indipendentemente dalla dinamica dell'evento considerato limitando così l'attendibilità delle stime a quegli eventi la cui scala spaziale risulti congruente con i poligoni predefiniti.

Con la crescente disponibilità di risorse di calcolo automatico ai metodi ora illustrati si sono sostituite varie tecniche automatiche di interpolazione, tra cui le più comuni consistono nell'interpolazione dei dati attraverso superfici di regressione, anche note come tecniche di trend surface analysis. La forma analitica della superficie può essere di diverso tipo, anche se, generalmente, quella più utilizzata si basa su espressioni polinomiali condizionate nell'ordine massimo dal numero di punti di rilevamento. La superficie più idonea viene identificata attraverso i valori del coefficiente di correlazione multipla o in base alla varianza dei residui. Tuttavia, anche questa metodologia presenta alcuni limiti legati essenzialmente alla scelta arbitraria dell'ordine del polinomio da adottare.

Tecniche di Interpolazione Stocastica (Kriging)

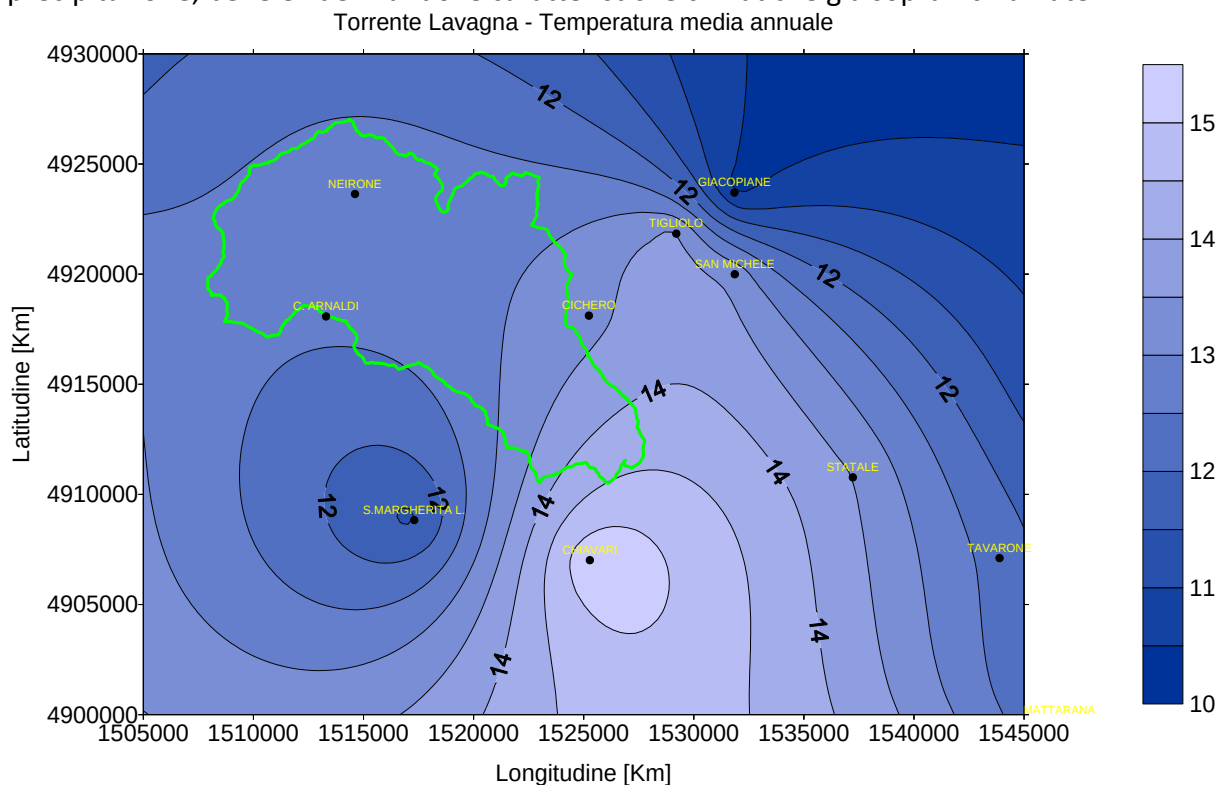
In alternativa alle tradizionali tecniche di stima dei campi di precipitazione (e temperatura) può essere vantaggiosamente utilizzata una tecnica di interpolazione stocastica che tenga conto della variabilità spazio-temporale del campo schematizzandolo come un processo stocastico, in genere stazionario ed omogeneo. In breve (Cressie, 1993), la stima in ogni punto del campo della variabile considerata viene effettuato attraverso stimatori che minimizzano la varianza dell'errore, in modo quindi da ottenere una stima 'ottima del campo e da fornire precise indicazioni sull'efficacia della stima. Il parametro che governa la ricerca della soluzione, è in qualche modo la distanza dai punti di controllo (le stazioni), così che si può considerare questo metodo come uno sviluppo su base statistica del metodo dei topoi.

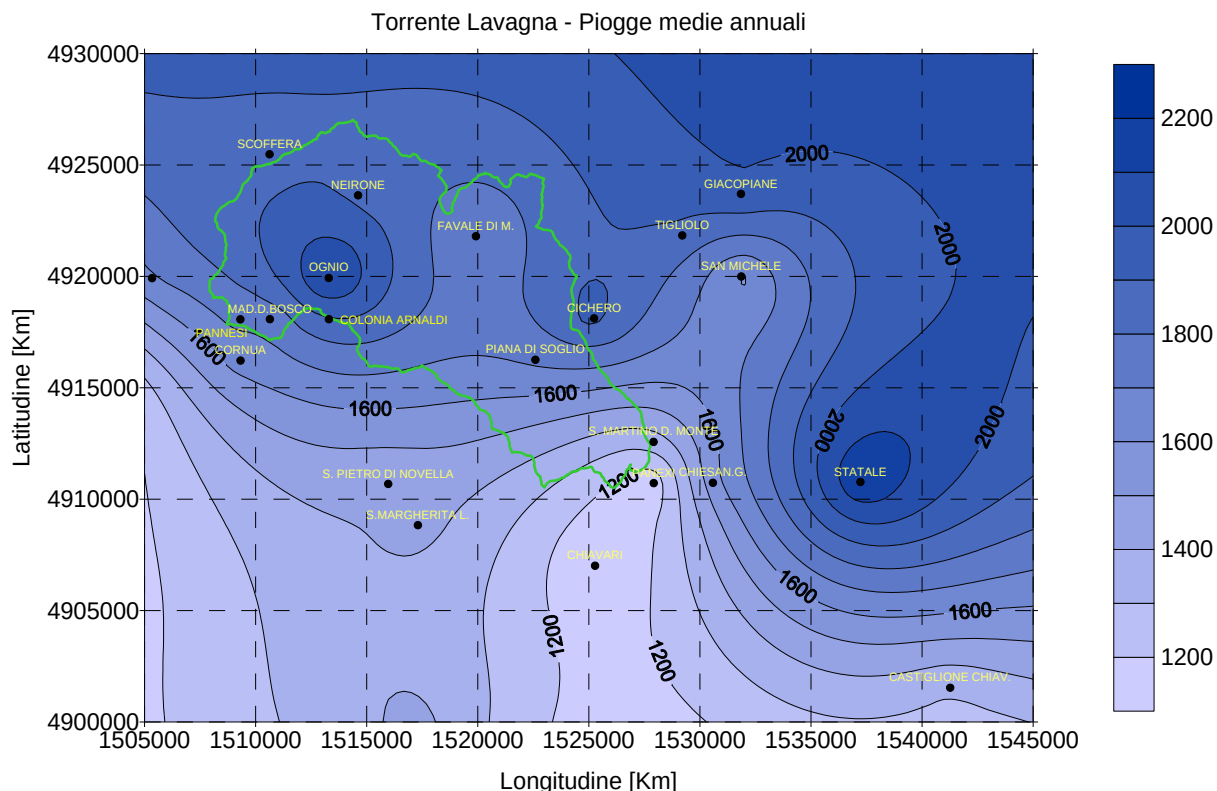
L'originalità e la vantaggiosità del metodo consiste essenzialmente nel prendere in considerazione l'effettiva struttura di correlazione spaziale del fenomeno, come risulta dalle osservazioni. Va da sé che la correttezza della ricostruzione del campo dipende dalla disponibilità di dati e dalla loro distribuzione nello spazio ed è fortemente influenzata dalla correlazione esistente tra i dati rilevati. Assumendo che il processo sia stazionario e che la funzione di correlazione spaziale sia separabile da quella di correlazione temporale, è possibile esprimere con opportune forme analitiche sia il coefficiente di correlazione, sia altre forme di correlazione più opportune, come, ad esempio, la distanza fra i punti di misura. In tal modo è quindi possibile ricostruire la variabilità della grandezza in esame in qualunque punto del campo ed in particolare, in modo automatico tramite opportuni codici di calcolo¹, determinare i valori della variabile (ad es. il valore medio mensile di precipitazione) sui vertici di una maglia regolare predefinita, quale potrebbe essere ad esempio quella determinata dall'utilizzo di un modello digitale delle quote (DEM, da Digital

¹ Molti codici di calcolo nati da esperienze sviluppate nell'ambito della ricerca sono oggi disponibili sul mercato.

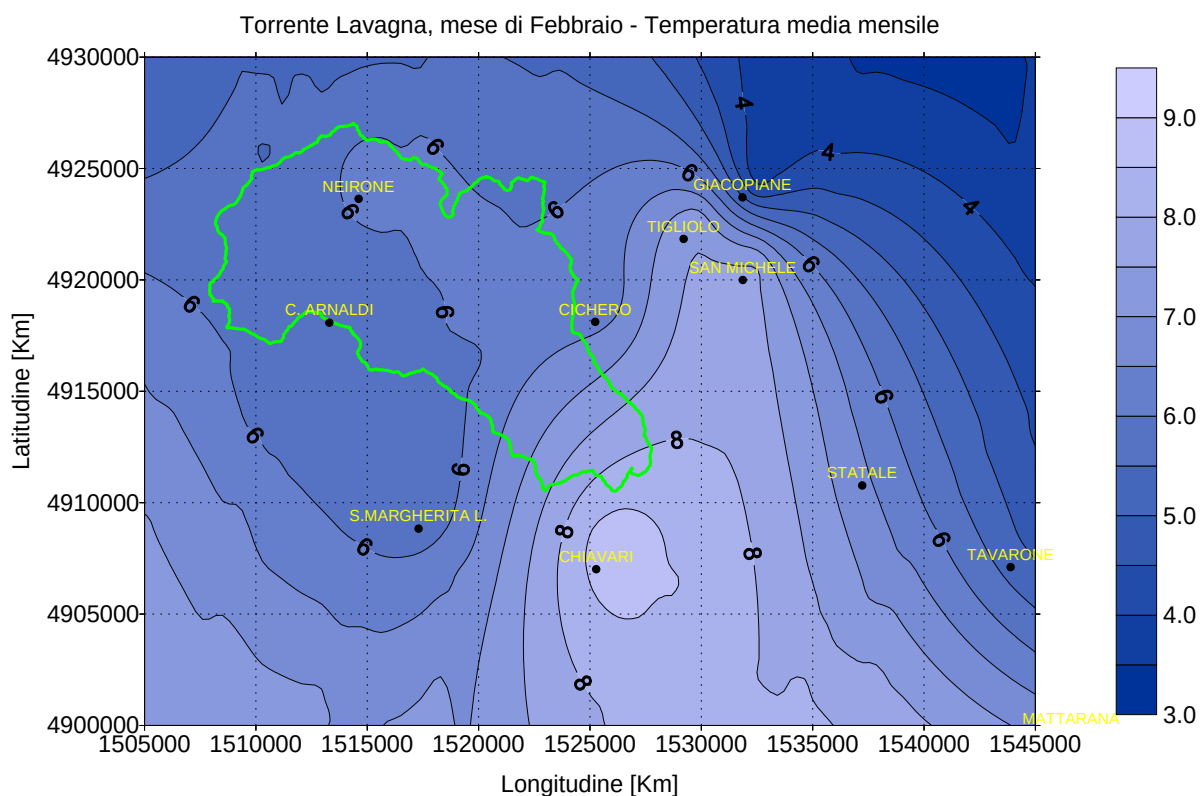
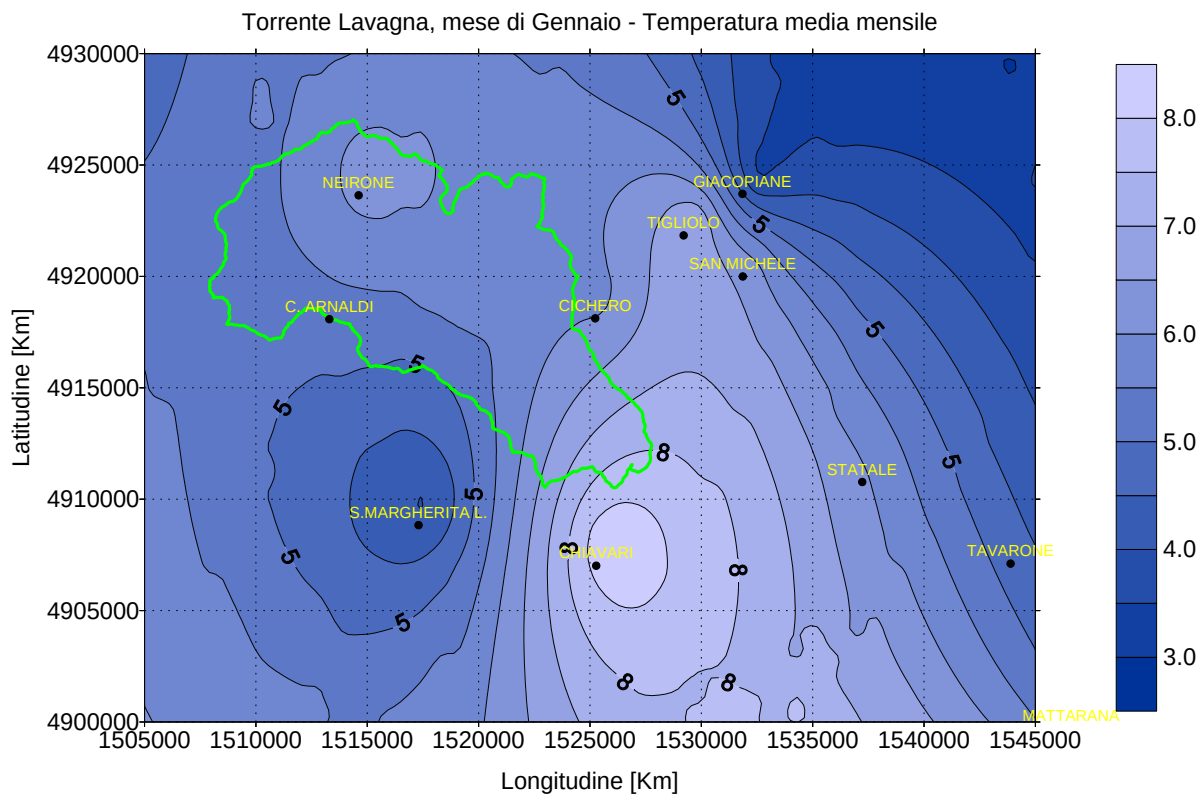
Elevation Model). È in tal caso possibile giungere alla formulazione, in totale analogia al DEM, di mappe digitali delle precipitazioni (e delle temperature) mensili ed annuali. Proprio in ragione della possibilità di interfacciare queste mappe con i sistemi automatici di gestione delle informazioni territoriali, più noti come Sistemi Informativi Geografici (GIS, Geographical Information Systems), lo studio della distribuzione spaziale di piogge e temperature è stato sviluppato mediante kriging impostato su una base georeferenziata di maglia 1 km.

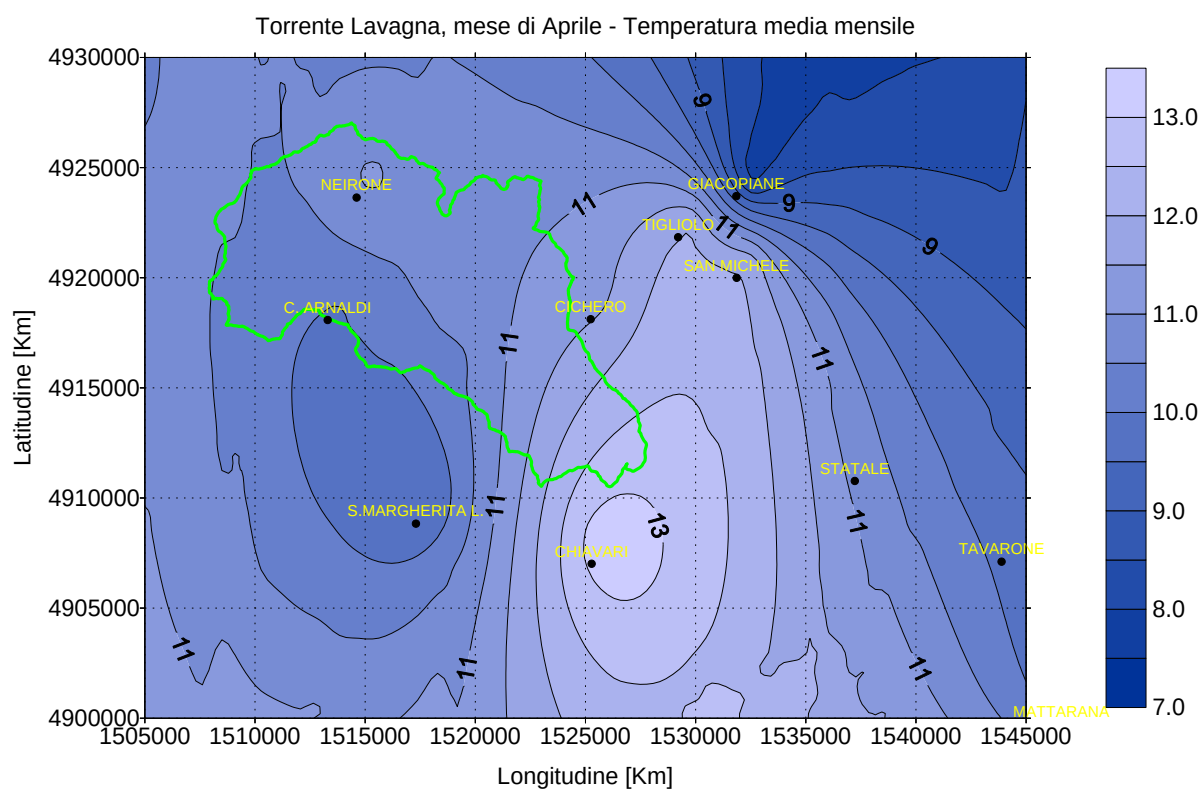
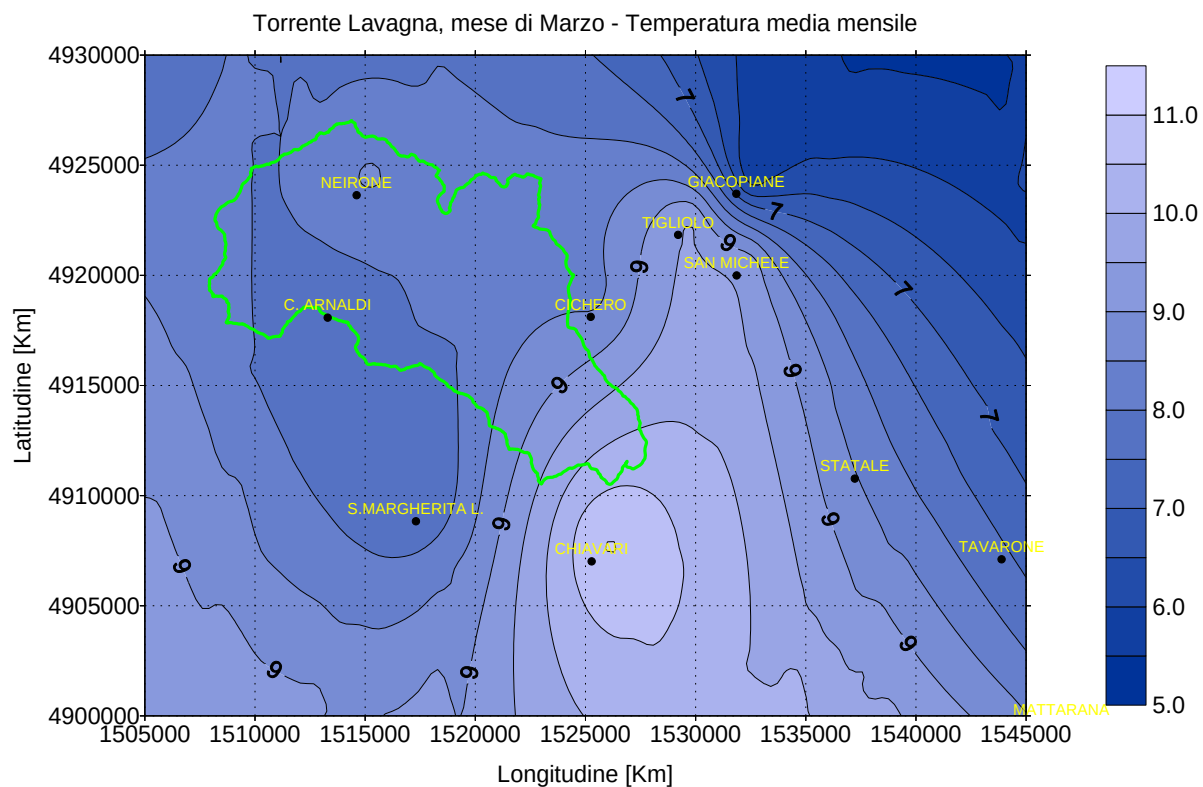
In accordo con questa impostazione sono stati elaborati i dati medi mensili di temperatura e di precipitazione, con lo scopo di ottenere una descrizione quantitativa spazialmente distribuita delle caratteristiche climatiche del bacino. Le figure di seguito presentate riportano gli andamenti medi annuali rispettivamente della temperatura e della precipitazione, bene evidenziando le caratteristiche climatiche già sopra richiamate.

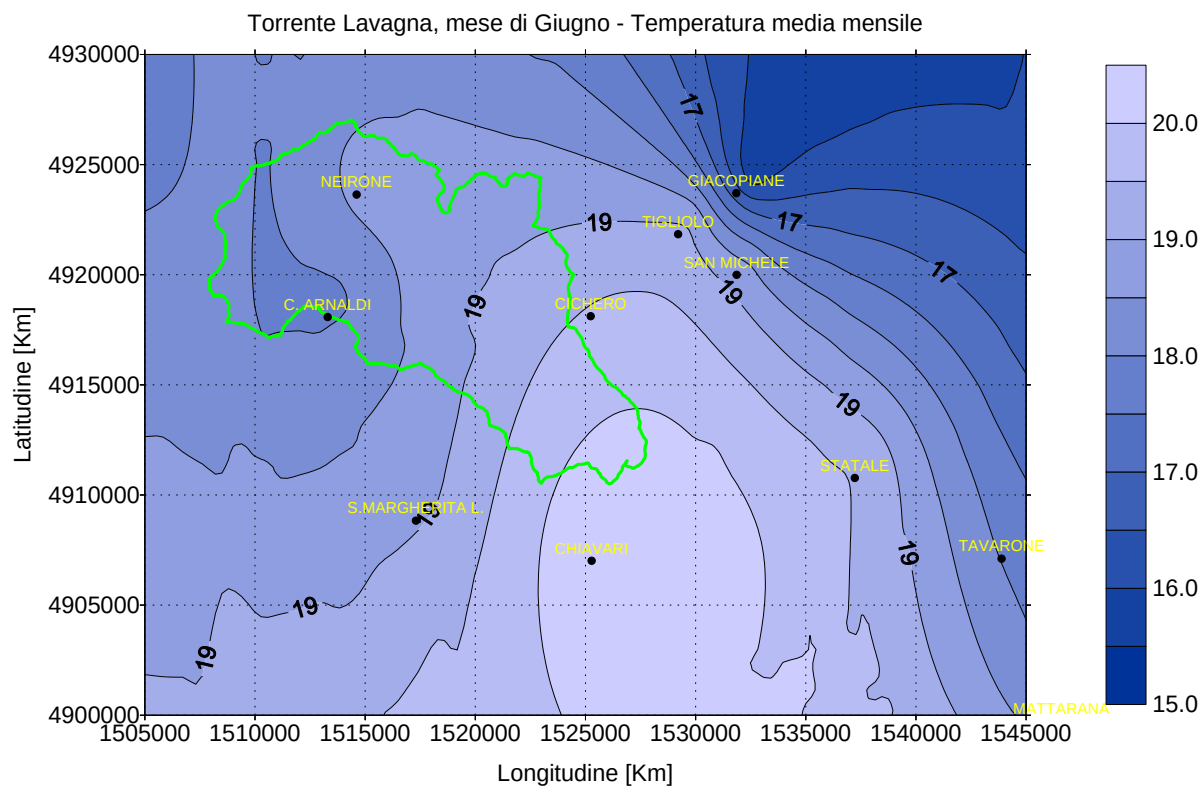
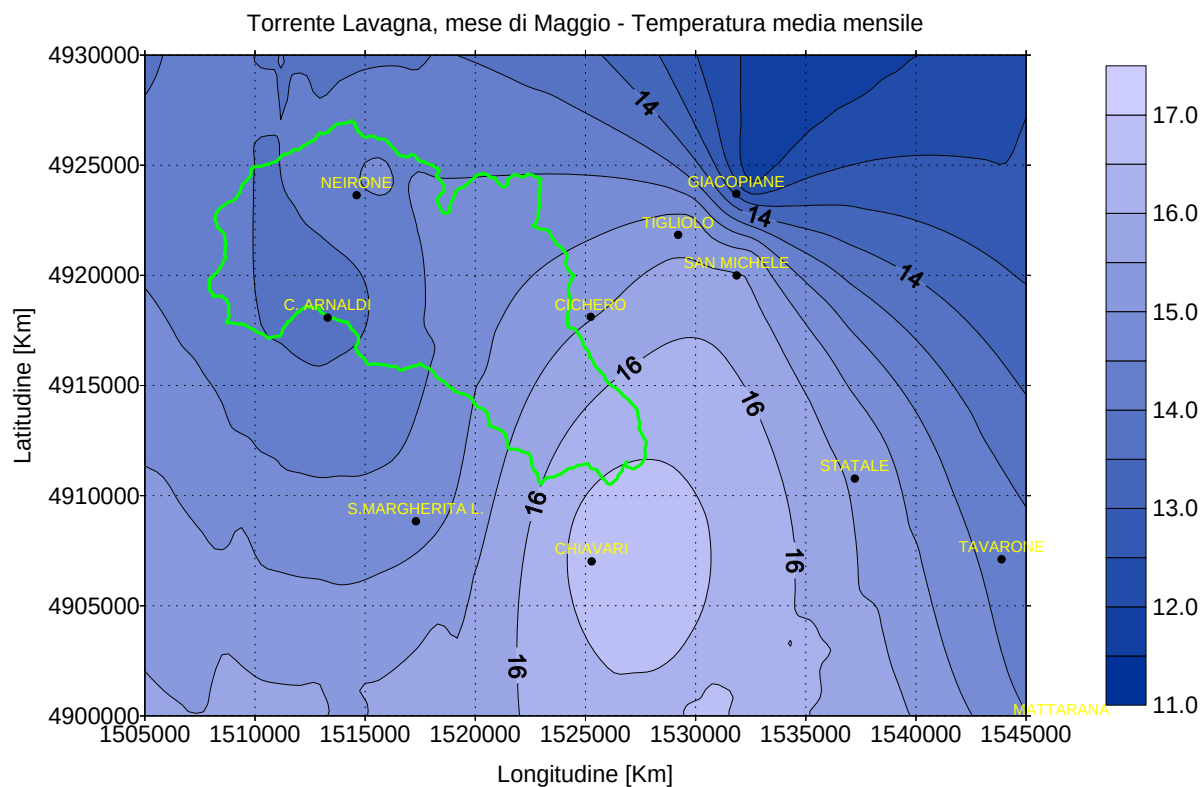


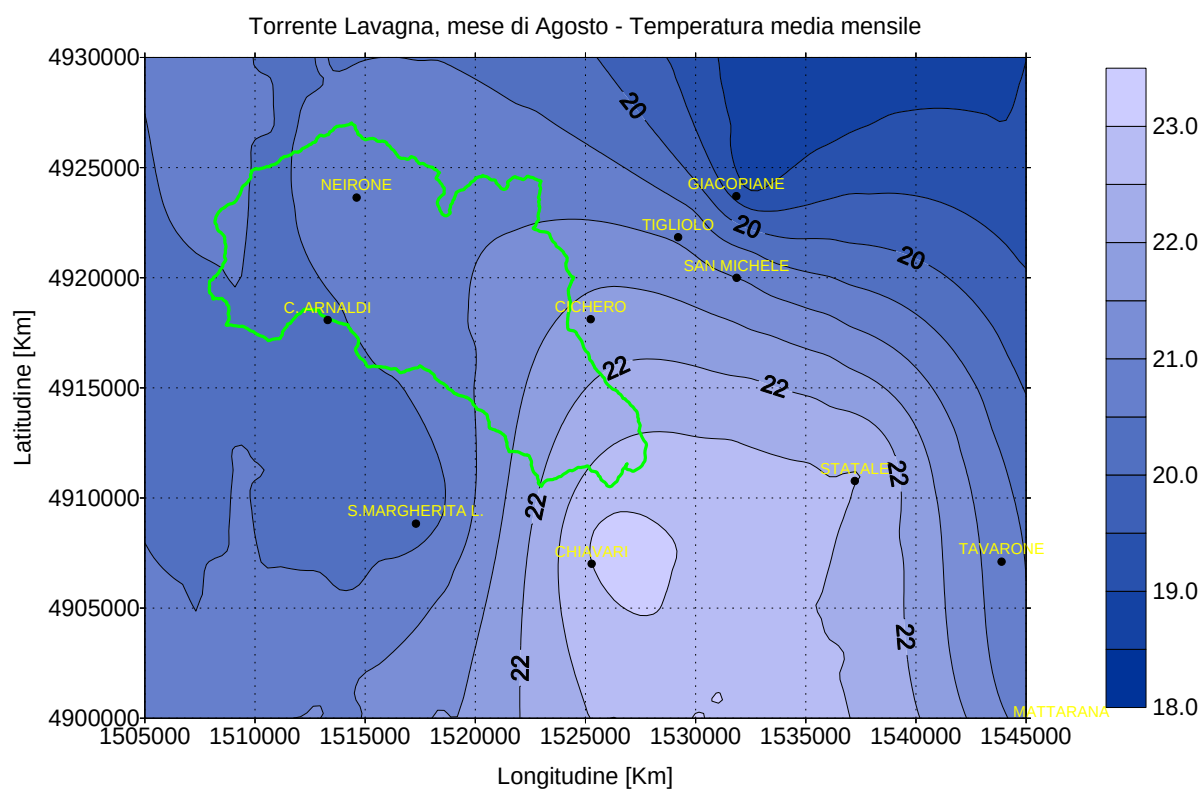
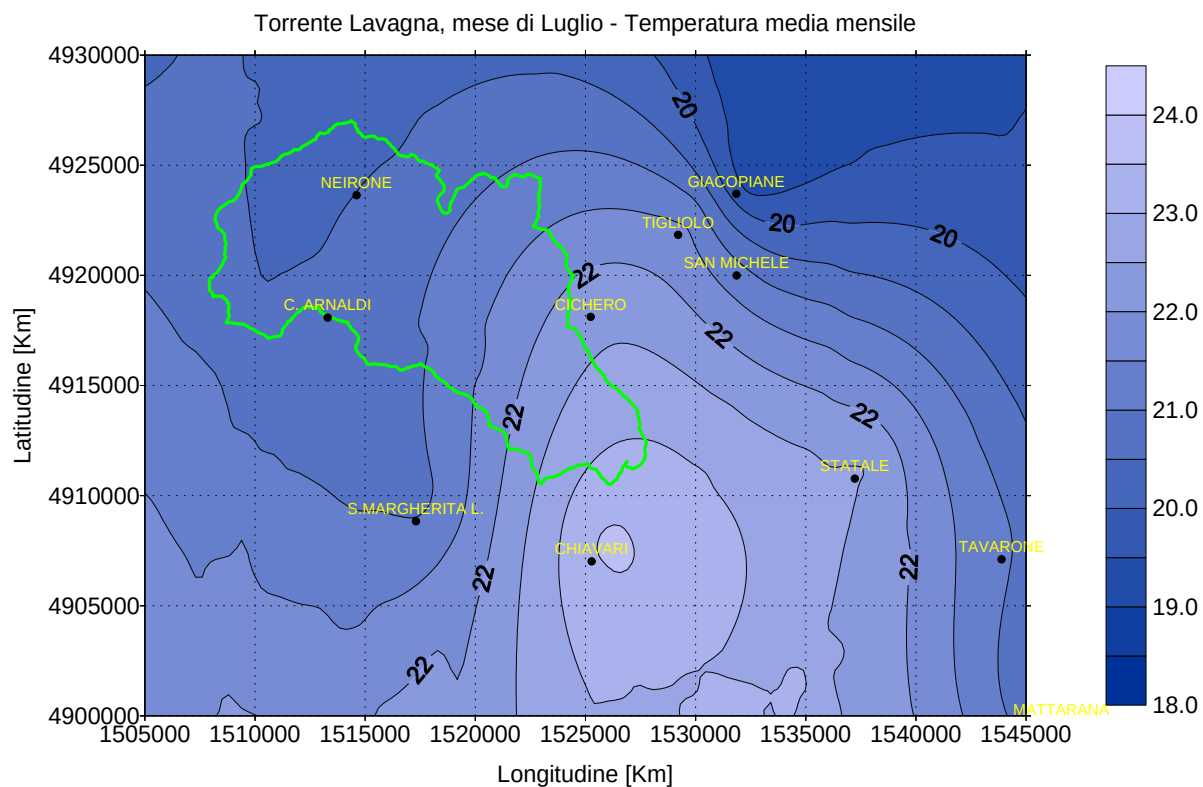


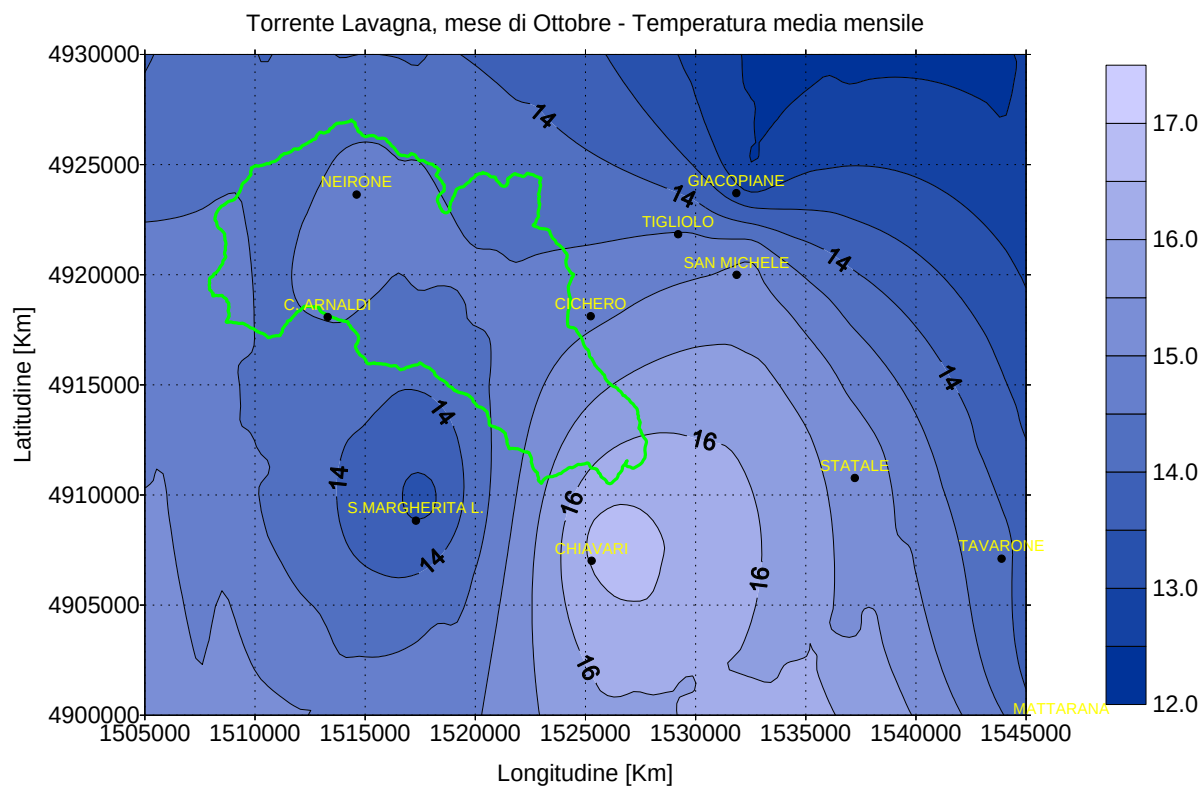
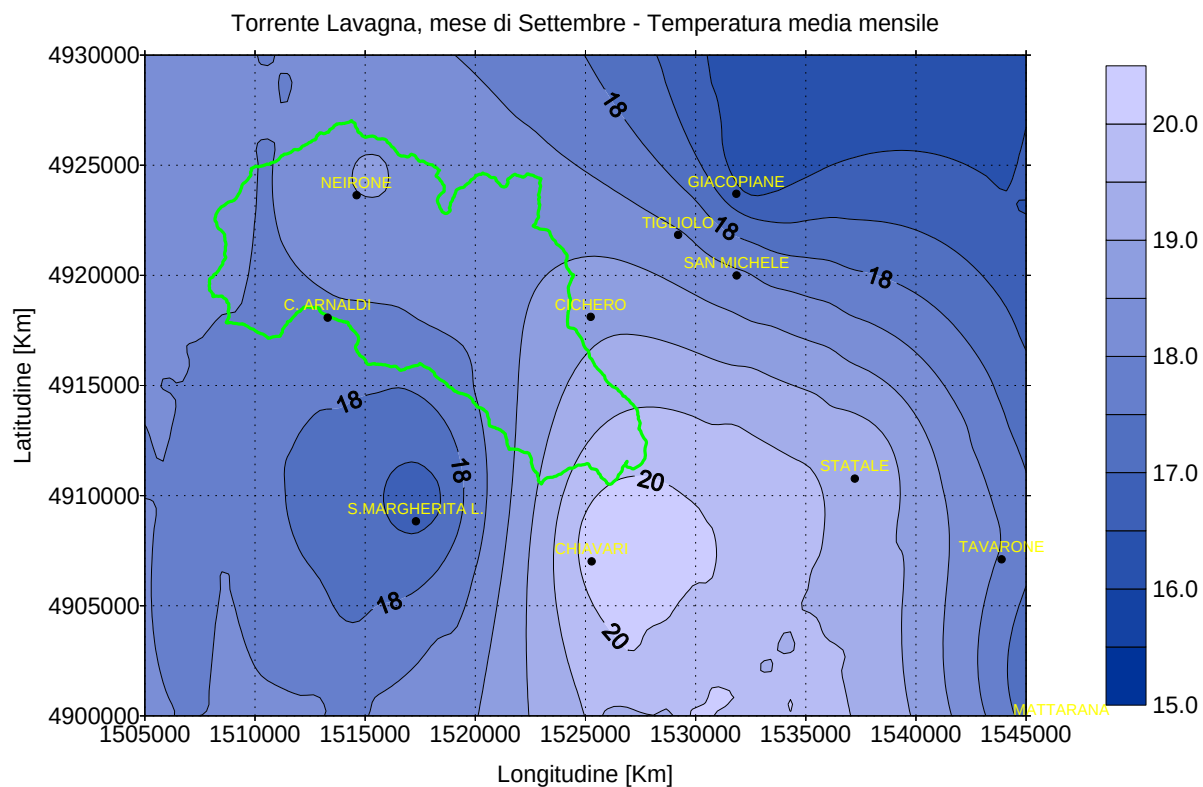
L'elaborazione dei dati a scala mensile mostra inoltre come l'unico tipo pluviometrico, quello sublitoraneo, che determina l'andamento stagionale delle piogge, presenti due massimi, uno primaverile ed uno autunnale, e due minimi, uno estivo ed uno invernale. In corrispondenza del massimo autunnale, determinato da perturbazioni provocate dalla formazione di aree depressionarie sul Mar Ligure e, più in generale, sull'Alto Tirreno, è certamente più probabile il verificarsi di piogge intense, responsabili degli eventi critici per molti dei corsi d'acqua della regione e, in particolare, per il complesso dei bacini dell'Entella, ivi compreso il bacino del Lavagna.

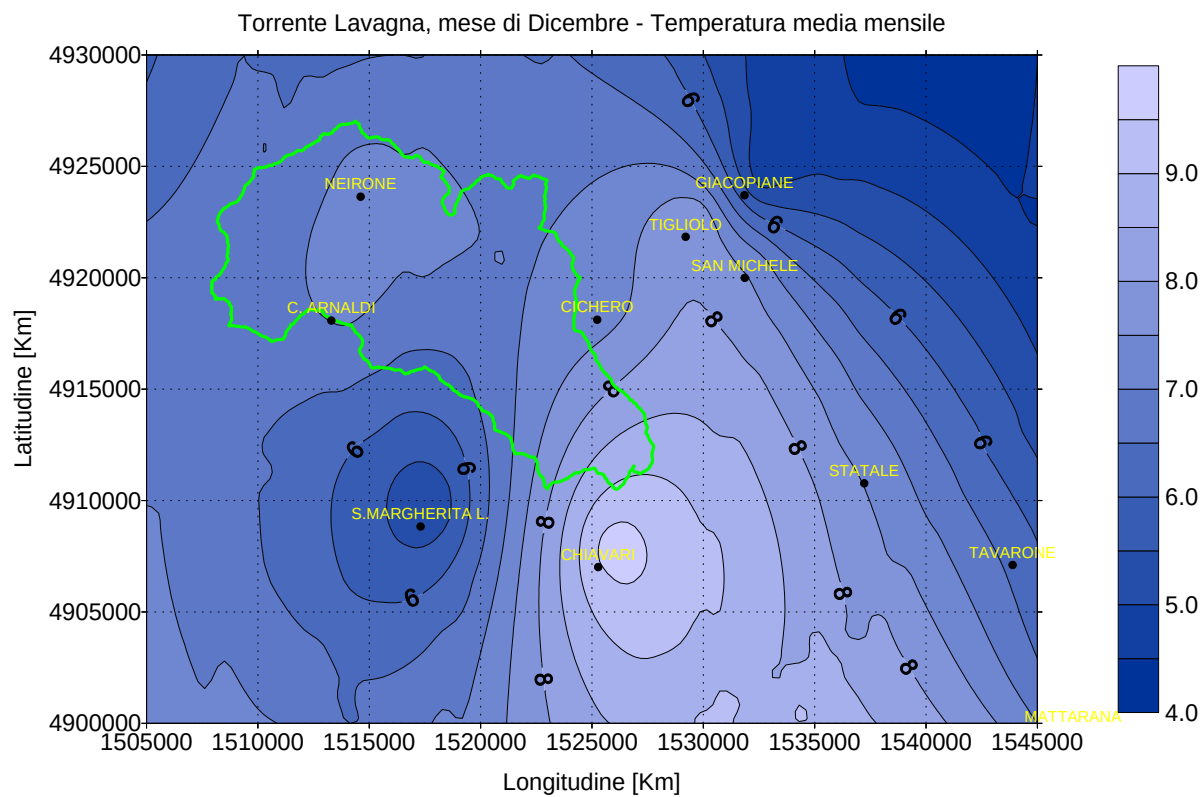
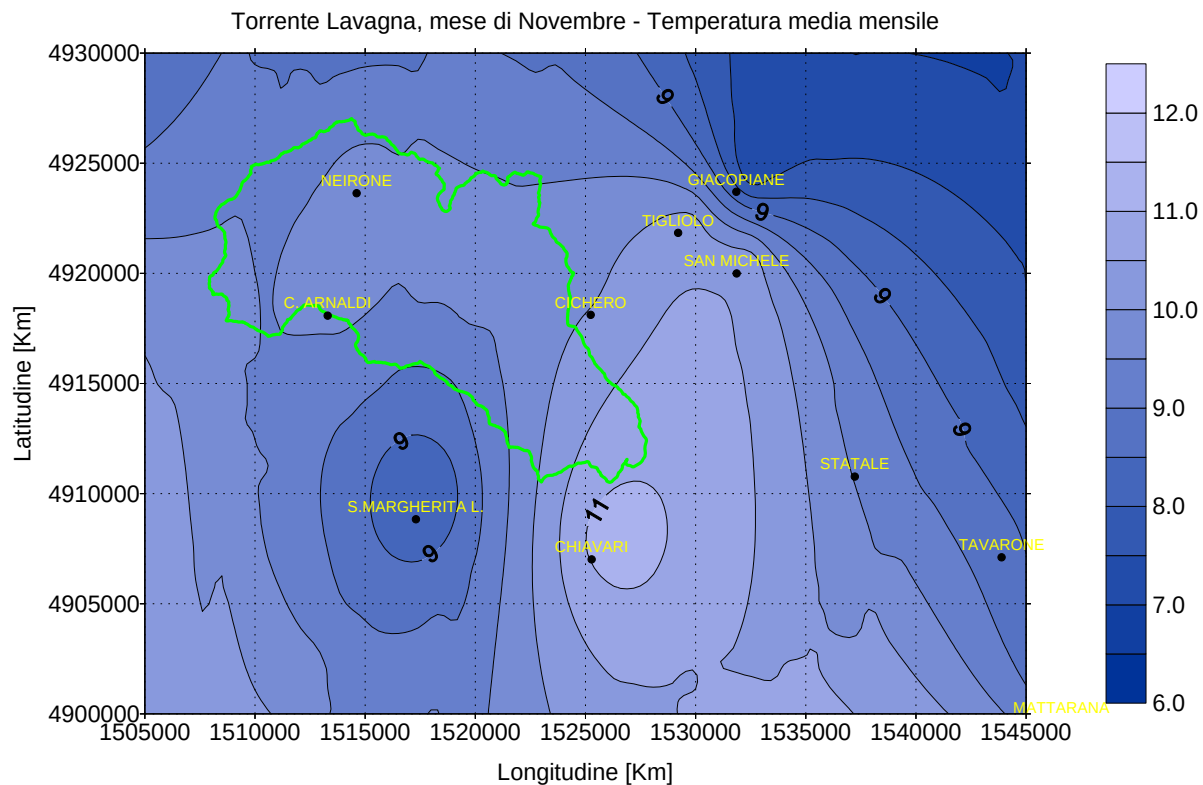


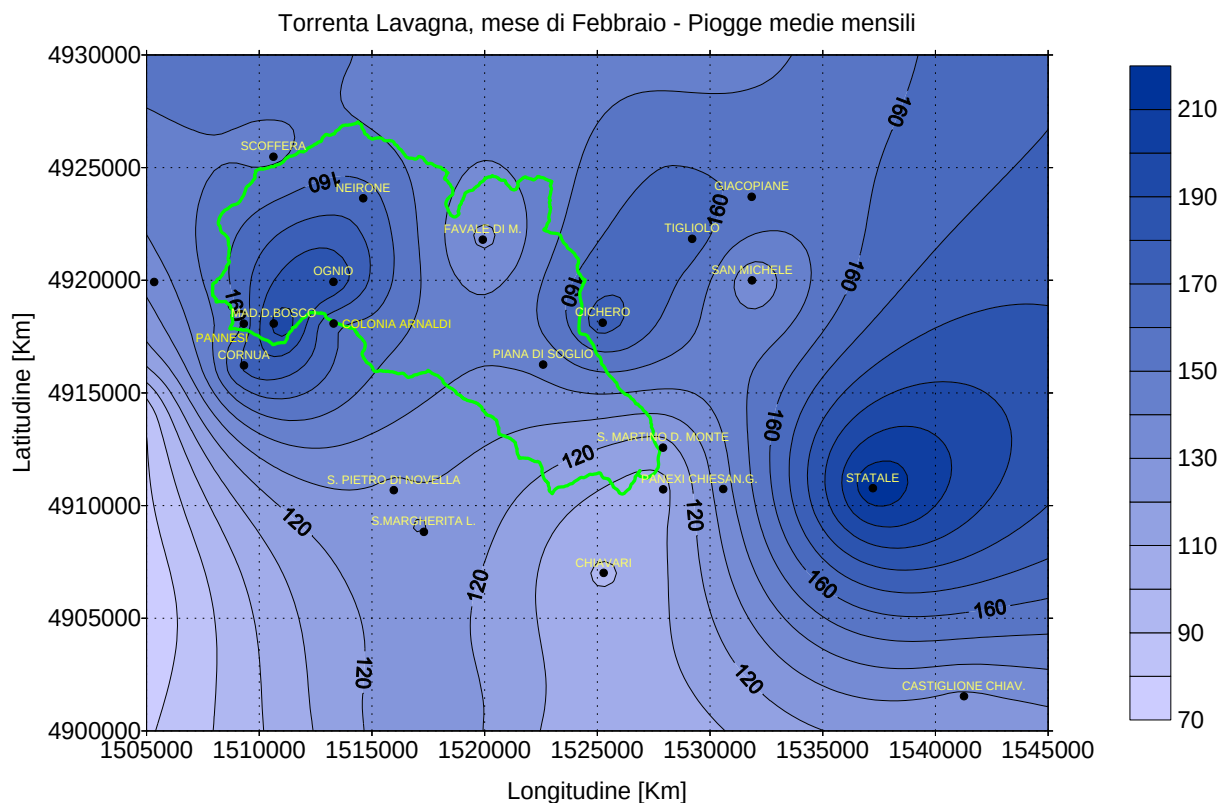
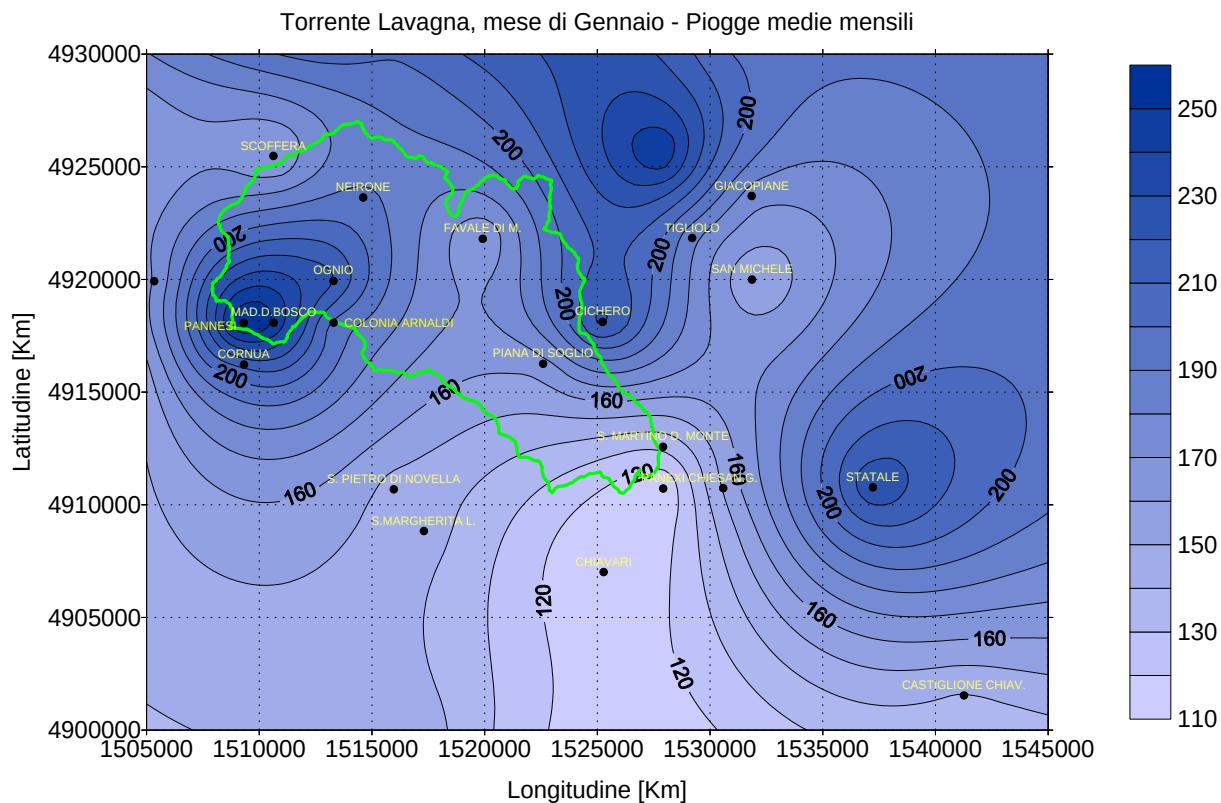


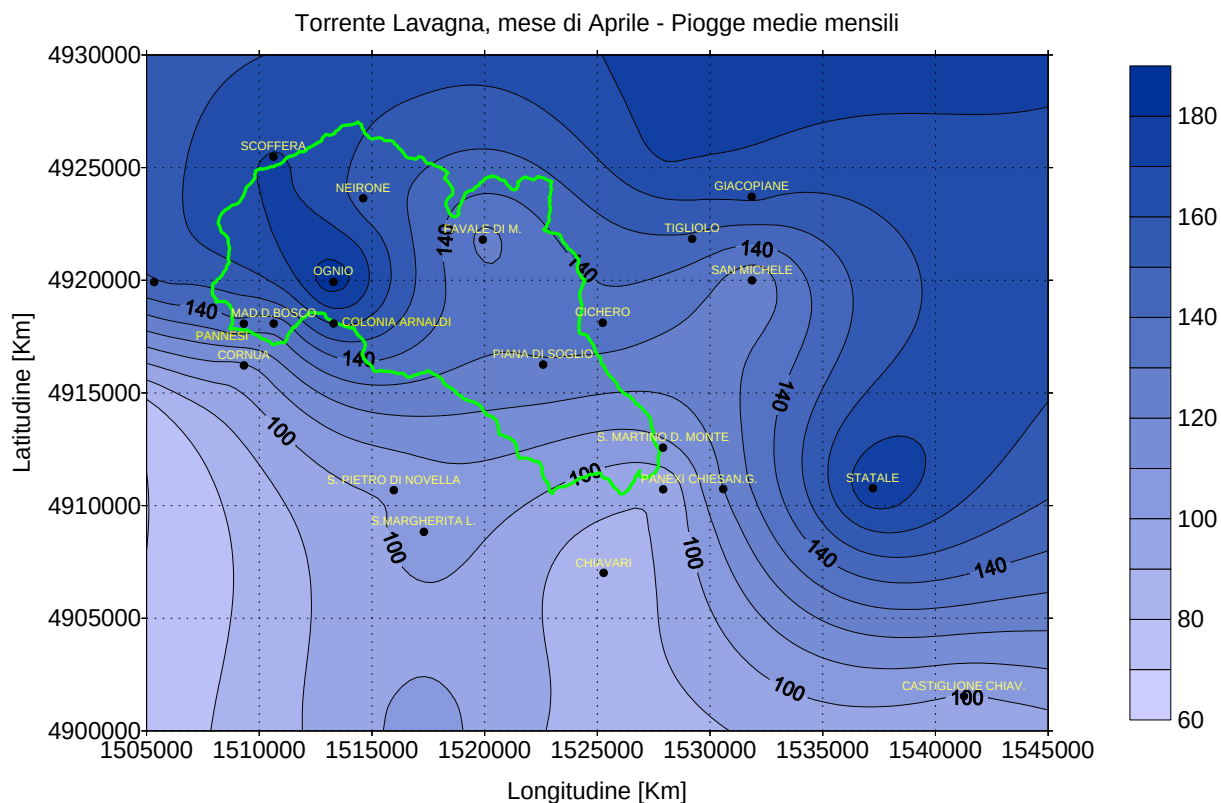
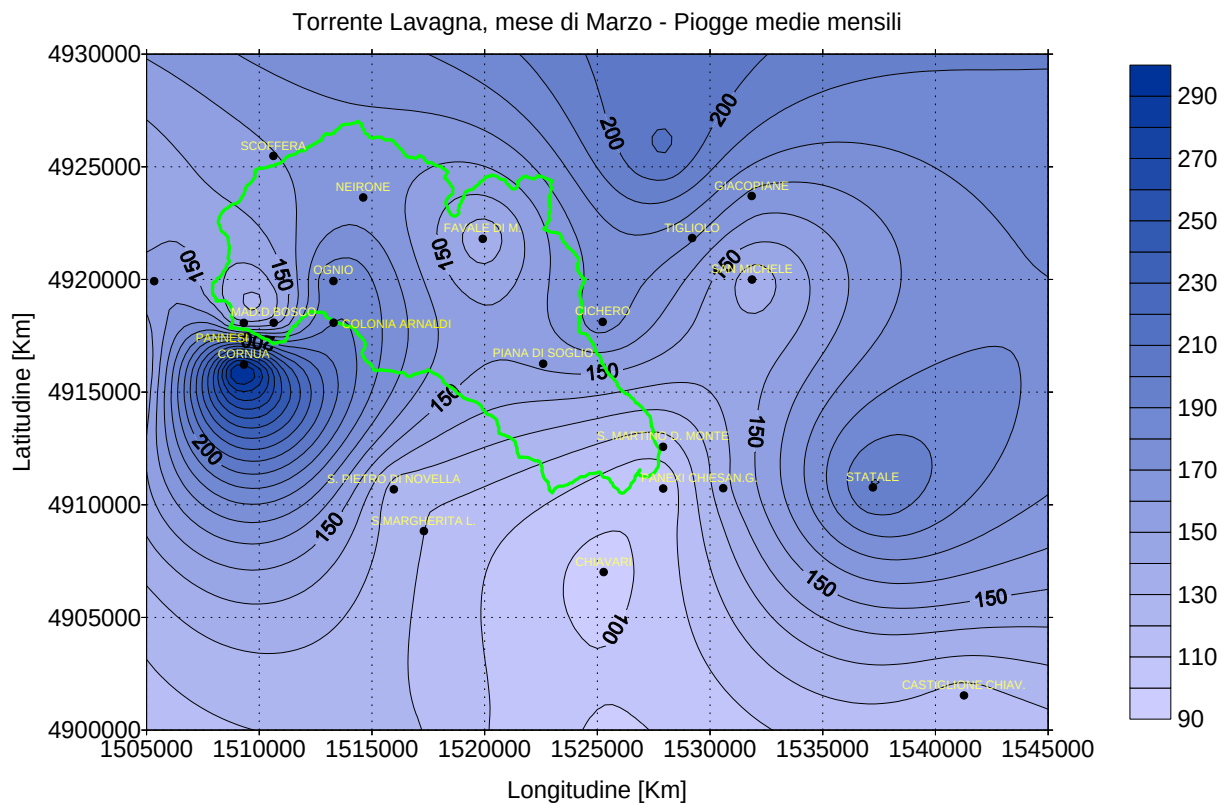


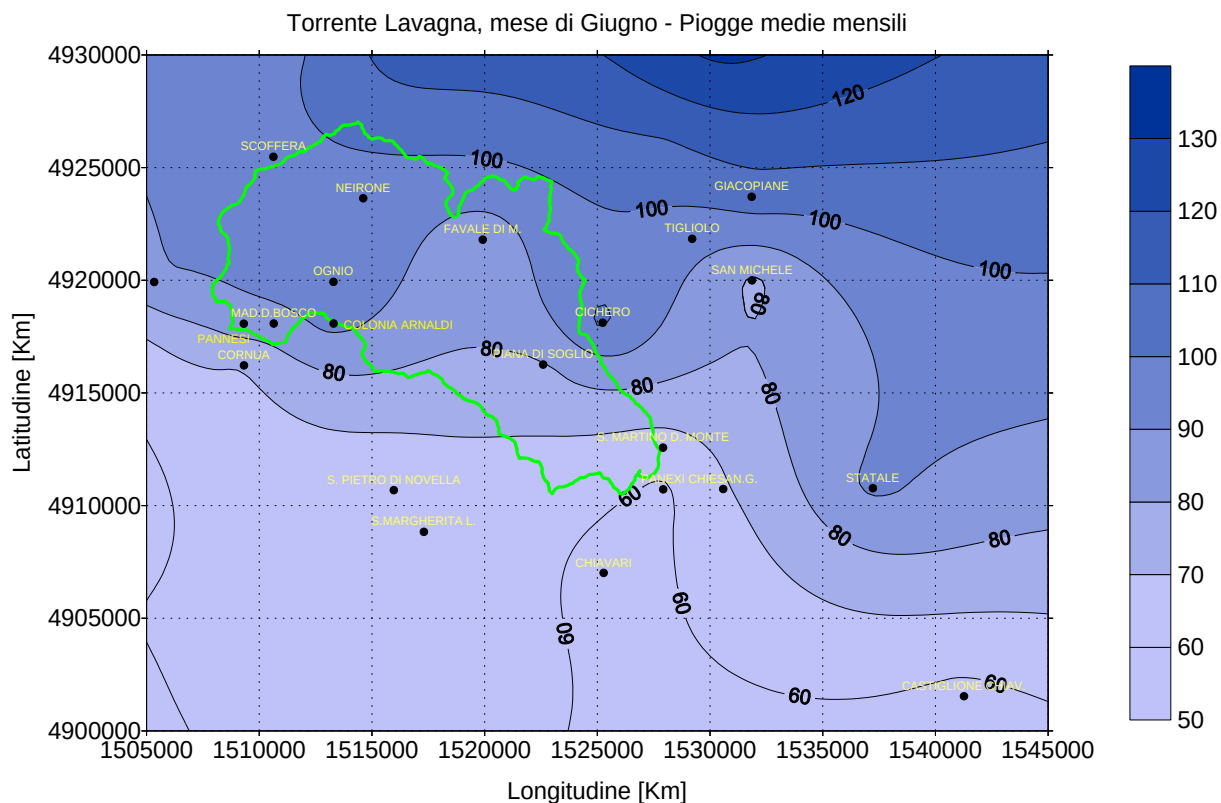
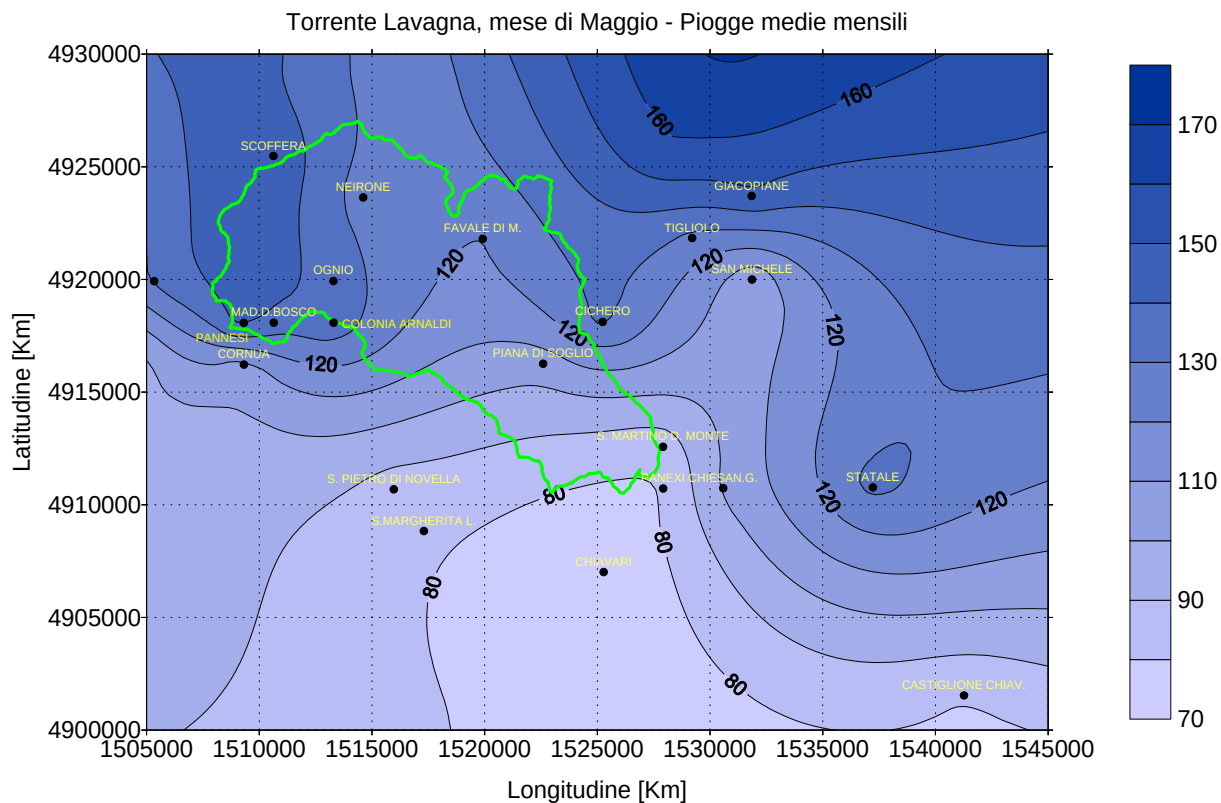


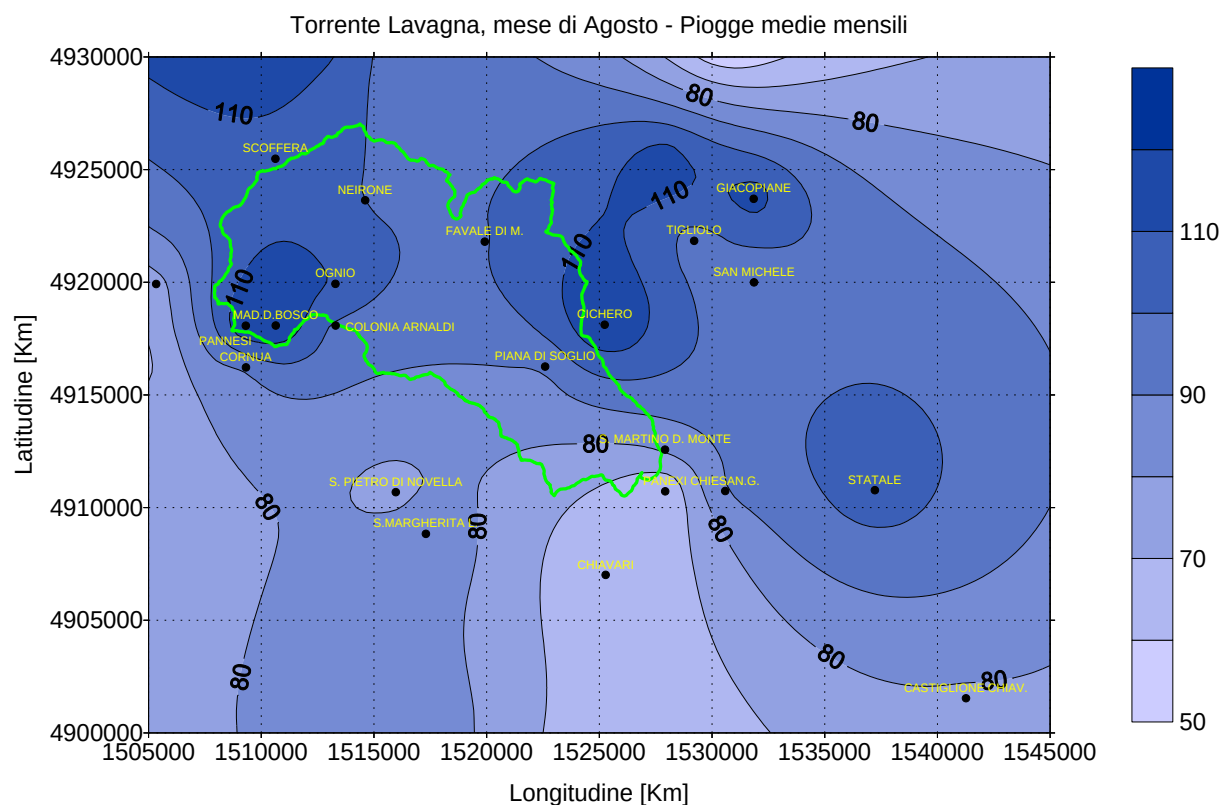
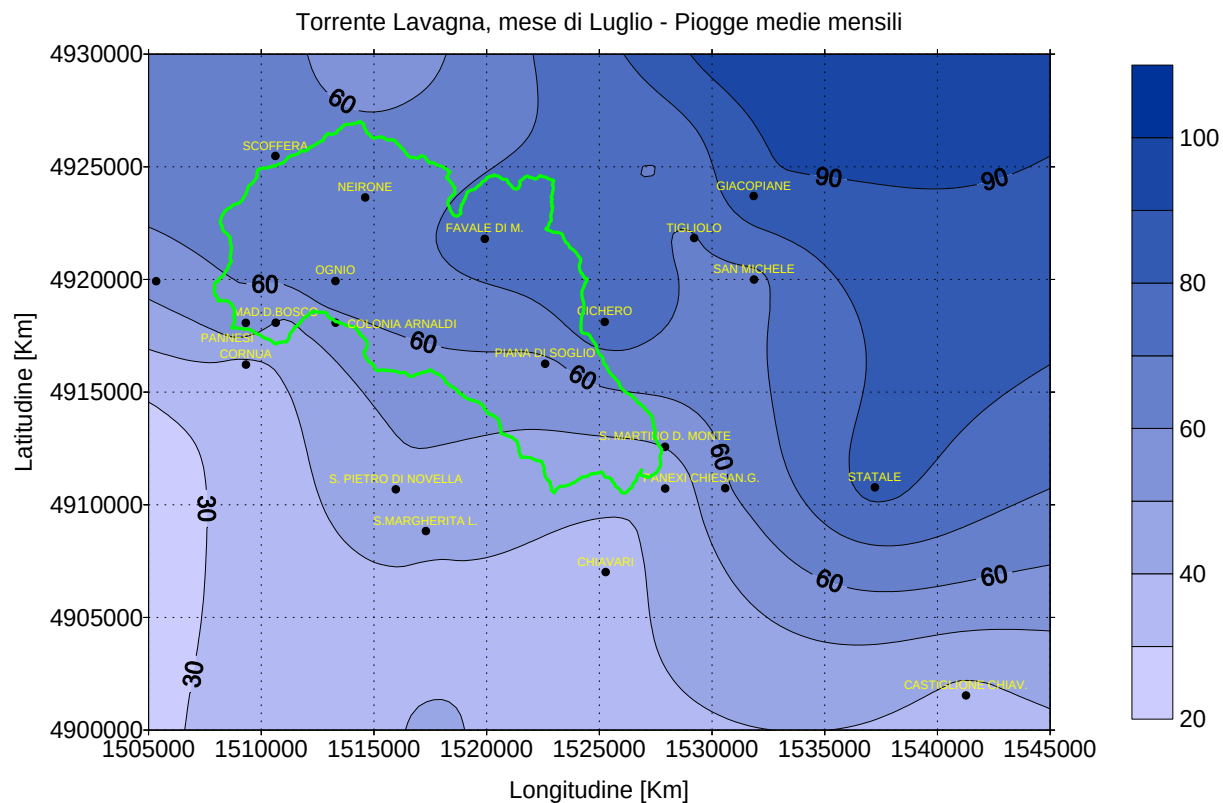


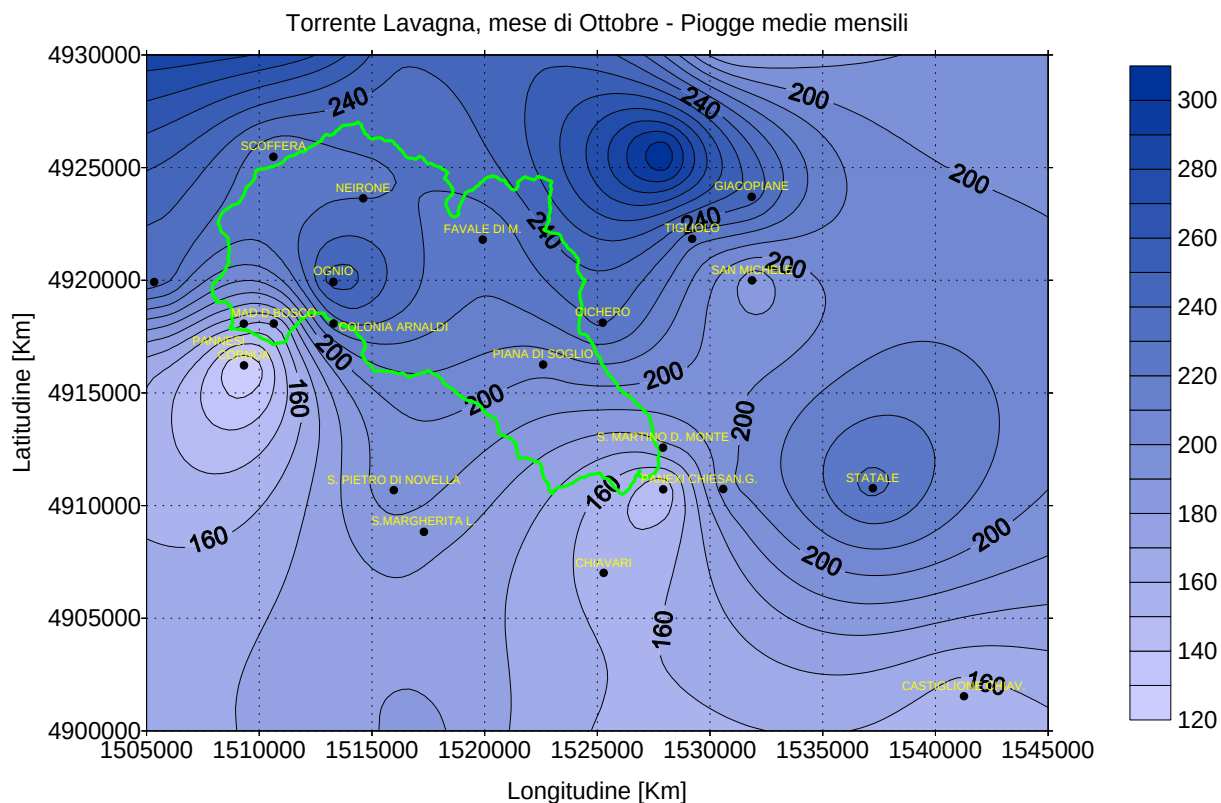
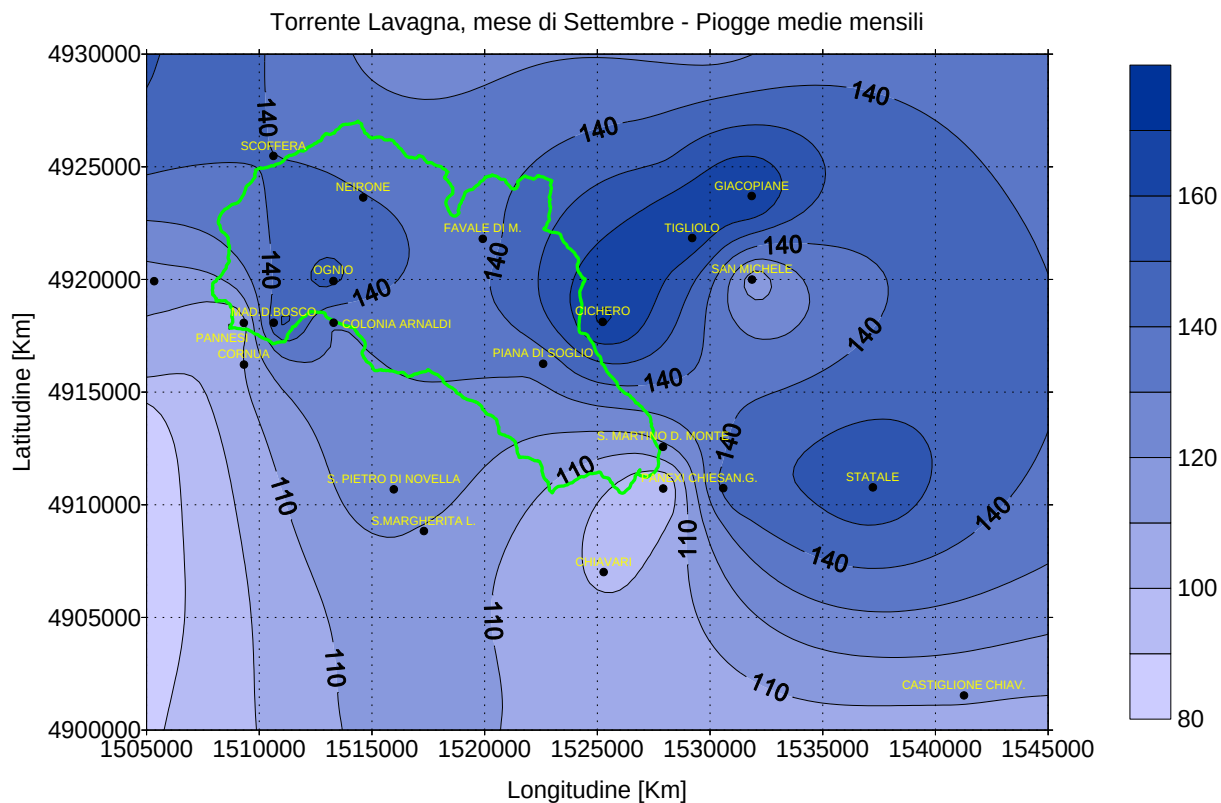


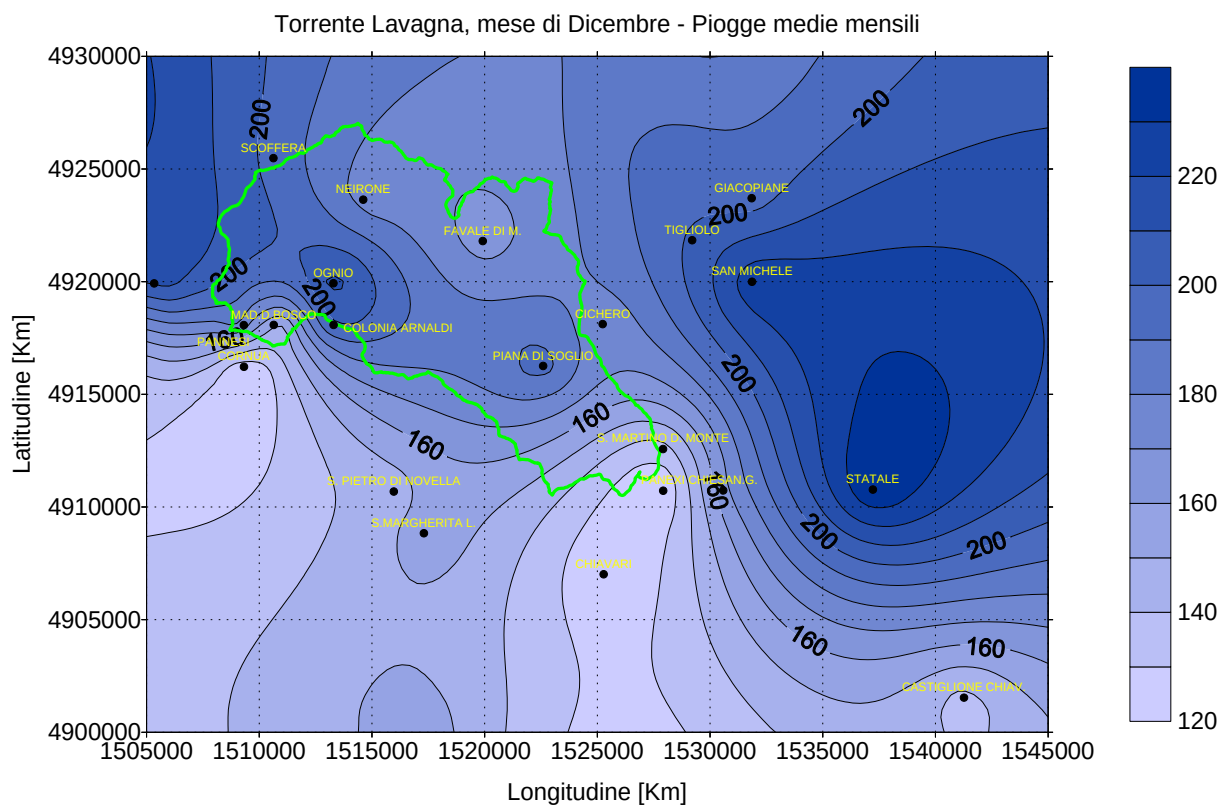
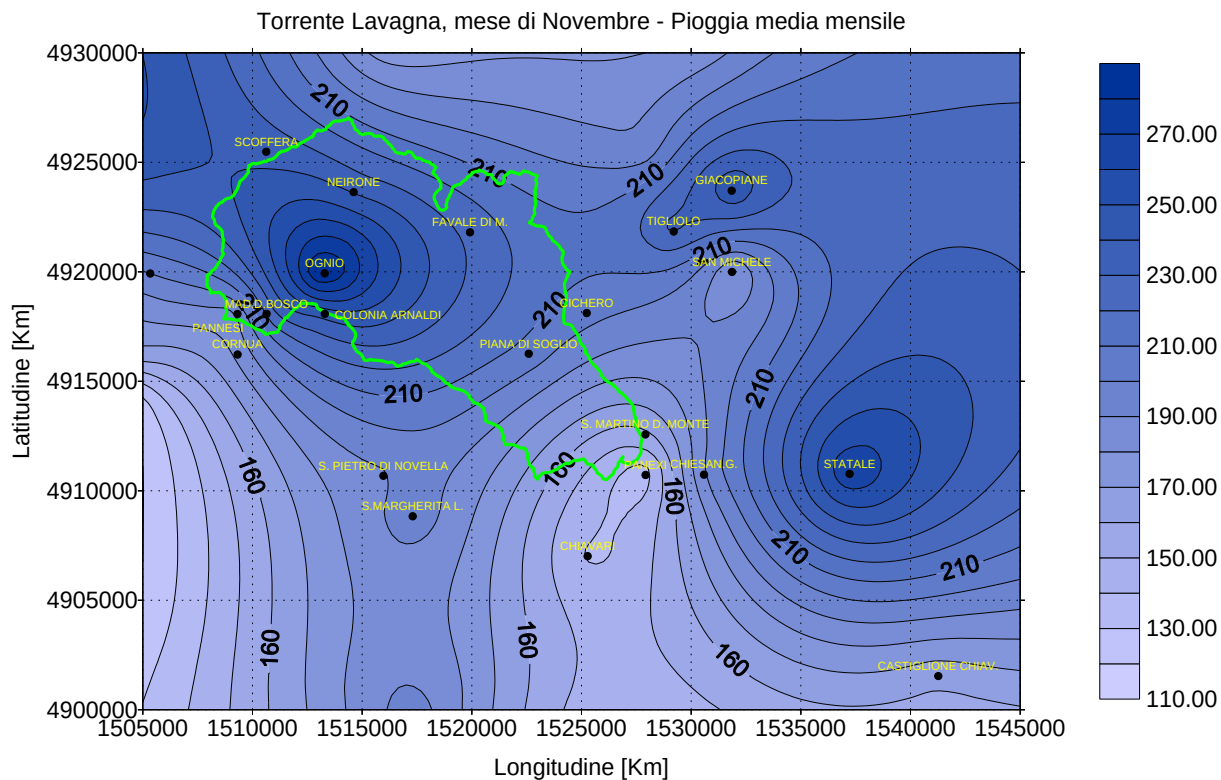












Idrologia degli eventi estremi e di piena

La determinazione del *rischio meteorologico* costituisce requisito fondamentale nello studio di un gran numero di problemi tecnici legati alla protezione idraulica del territorio. Tale rischio può essere formulato in termini di sollecitazione meteorica temibile con assegnata frequenza, prefissata dal progettista, secondo una impostazione di tipo probabilistico o, meglio, stocastico. A tal fine, la determinazione del rischio richiede la previsione delle altezze di pioggia temibili in una certa località (un punto dello spazio, coincidente in genere con una stazione pluviografica) al variare della durata temporale con cui la sollecitazione meteorica viene considerata, per un assegnato livello di frequenza. In quest'ottica, svolge quindi un ruolo fondamentale la descrizione probabilistica del processo fisico in esame e, di conseguenza, lo studio delle sue proprietà statistiche, quali emergono dalle osservazioni sperimentali.

In realtà, una più accurata determinazione del rischio meteorologico richiederebbe lo studio del comportamento delle precipitazioni nel tempo e nello spazio; tuttavia, questo tipo di studio comporta la conoscenza del fenomeno nel suo complesso e dei processi fisici di natura deterministica che controllano la formazione e l'evoluzione delle precipitazioni e, in particolare, dei nubifragi. Poiché le tecnologie, di cui a tutt'oggi disponiamo per rappresentare questo livello di dettaglio, sono fortemente carenti sotto tutti gli aspetti, teorici e pratici, nonché spesso fuorvianti rispetto al reale andamento delle sollecitazioni meteoriche nel dominio spazio-temporale, in questa sede l'analisi viene limitata alla sola caratterizzazione probabilistica delle precipitazioni osservate in una certa stazione pluviografica.

Assumendo, quindi, che l'intensità di pioggia locale si possa rappresentare come un processo stocastico continuo nel tempo, $X(t)$, l'altezza di pioggia caduta in un prefissato intervallo di tempo, di lunghezza T , si ottiene integrando il processo stocastico stesso, cioè:

$$Z_T(t) = \int_{t-T/2}^{t+T/2} X(\xi) d\xi \quad (1)$$

La probabilità che il valore massimo di $Z_T(t)$ non superi una certa altezza di pioggia h durante un prefissato intervallo di tempo $(0, \Delta t)$:

$$F(h) = \Pr[\max Z_T(t) \leq h, 0 < t \leq \Delta t] \quad (2)$$

rappresenta la *funzione di affidabilità*, che caratterizza la sollecitazione meteorica locale per l'assegnata durata T , in un periodo omogeneo di riferimento di lunghezza Δt . La (2) stabilisce una relazione analitica tra l'altezza di pioggia h , la durata T ed il livello di affidabilità F : quando prefissiamo un valore della frequenza di non superamento F , la relazione tra il quantile F -esimo e la durata porge la curva di crescita dell'altezza di pioggia temibile al crescere della durata, comunemente nota come *linea segnalatrice di probabilità pluviometrica locale* (Burlando e Rosso, 1991).

Nella pratica idrologica, in luogo del livello di affidabilità, rappresentato dalla $F(h)$, viene spesso impiegato il periodo di ritorno R ; esso rappresenta il valore atteso dell'intervallo tra due eventi meteorici con altezze superiori al valore h in una durata T ed è definito come

$$R = \frac{\Delta t(t_a/\Delta t)}{1 - F(h)} \quad (3)$$

dove Δt è un periodo omogeneo dal punto di vista climatico (p. es. un certo mese od una certa stagione) e t_a è il periodo di riferimento (comunemente si assume l'anno). Sostituendo R a F nella (2), si ottiene ancora una relazione analitica tra altezza di pioggia, h , durata, T , e

periodo di ritorno, R : in questo modo, la curva di crescita dell'altezza di pioggia temibile al crescere della durata per un assegnato valore del periodo di ritorno, che si indica con $h_R(T)$, assume la forma più comunemente in uso nella progettazione idraulica e nota come linea segnalatrice di probabilità pluviometrica locale. Nella pratica, si assumono generalmente di lunghezza annuale sia il periodo omogeneo Δt , sia il periodo di riferimento t_a , così che il periodo di ritorno venga ad essere misurato in anni e la curva sul piano $h - T$, con parametro R , viene così denominata *Linea Segnalatrice R-ennale di Probabilità Pluviometrica (LSPP)* locale.

Osservazioni Storiche di Pioggia Intensa

I dati pluviometrici necessari all'analisi del rischio meteorologico sono le altezze di pioggia massime, per diversa durata di campionamento, registrate in un periodo di riferimento, solitamente assunto pari all'anno solare. Queste rappresentano il campione di osservazioni sperimentali della variabile aleatoria:

$$H_T = \max[Z_T(t)] \quad 0 < t \leq \Delta t \quad (4)$$

per diversi valori di T^2 .

La significatività dell'analisi e l'affidabilità della previsione dipende fortemente, come in ogni applicazione di tipo statistico-probabilistico, dalla numerosità del campione di dati utilizzati. Nel caso del bacino del Torrente Lavagna, solo due delle otto stazioni ricadenti all'interno del bacino presentano una numerosità superiore alle 20 osservazioni. Di conseguenza, per poter caratterizzare in modo più compiuto il rischio idrometeorologico nelle differenti aree del bacino, sono state considerate anche alcune stazioni ricadenti al di fuori del bacino, appartenenti alla medesima regione idrologica e caratterizzate da una numerosità superiore ai venti anni di osservazione³.

In Tabella è presentato l'elenco delle stazioni utilizzate per la determinazione del rischio idrometeorologico.

² Questo tipo di dato è pubblicato dagli Annali Idrologici del Servizio Idrografico e Mareografico del Ministero dei Lavori Pubblici, che nella parte I riportano in Tabella V, per ogni stazione pluviografica, le massime altezze di pioggia, H_d , cadute in una durata, d , rispettivamente pari a 1, 3, 6, 12 e 24 ore consecutive. Rimandando all'Appendice B1 per le tabelle relative ai dati osservati, in Tabella 6.5 si riportano, per una delle stazioni considerate, a titolo di esempio², le principali caratteristiche statistiche, in base alle quali possono essere determinate le Linee Segnalatrici di Probabilità Pluviometrica (LSPP) a scala locale. In particolare, per ogni durata sono riportati la media, $E[H_d]$, la deviazione standard, s , e la varianza, var , nonché il rapporto tra s ed $E[H_d]$, ossia il coefficiente di variazione, CV ; inoltre sono riportati i valori dei momenti, valori necessari per la stima dei parametri delle LSPP, di secondo, terzo e quarto ordine, indicati rispettivamente come:

$$E[H_d^2], E[H_d^3] \text{ e } E[H_d^4]$$

³ Un campione di 20 osservazioni è sufficiente, in linea teorica e sotto condizioni di stazionarietà del fenomeno, a stimare un rischio con un periodo di ritorno ventennale. Ogni estrapolazione a periodi di ritorno superiori, sulla base di un'interpretazione mediante un modello probabilistico, comporta un'incertezza legata alla regolarità di comportamento del processo. Poiché, però, è frequente il caso in cui le serie storiche di dati di pioggia intensa siano caratterizzate da numerosità di poco superiori ai venti anni, non appare azzardato fissare una numerosità del campione pari a 20 quale soglia per includere la stazione nell'analisi.

**ELENCO DELLE STAZIONI CONSIDERATE PER LA DETERMINAZIONE DEL RISCHIO
 IDROMETEOROLOGICO E CONSISTENZA DEL CAMPIONE**

STAZIONE ⁽¹⁾	BACINO	# OSSERVAZIONI
Scoffera	Bisagno	29
S. Ilario	tra Bisagno e Entella	27
Colonia A.	tra Bisagno e Entella	37
S. Pietro di N.	tra Bisagno e Entella	33
S. Margherita L.	tra Bisagno e Entella	23
Chiavari	tra Bisagno e Entella	57
Neirone	Entella (Neirone)	30
Piana di S.	Entella (Lavagna)	36
Tigliolo	Entella (Sturla)	55
Giacopiane	Entella (Sturla)	60
S. Michele	Entella (Penna)	57
Cichero	Entella (Cicagna)	21
Statale	Entella (Graveglia)	47
Panexi	Entella	46
Castiglione Chiav.	tra Entella e Magra	39
Montale di L.	tra Entella e Magra	35
La Spezia	tra Entella e Magra	48

Nota: (1) In corsivo le stazioni interne al bacino del Lavagna.

Linee Segnalatrici di Probabilità Pluviometrica (LSPP) a Scala Locale

Formulazione Tradizionale

Nella tradizionale pratica idrologica si ipotizza che la (2) sia rappresentabile con uno stesso modello probabilistico, indipendentemente dalla durata. Questa ipotesi risulta di norma valida per un certo campo di valori $[T_{inf}, T_{sup}]$ delle durate, più o meno esteso a seconda delle caratteristiche intrinseche di fluttuazione del fenomeno meteorico: essa va quindi verificata statisticamente per il campo delle durate di interesse tecnico, ossia per l'insieme delle durate $T_1, T_2, \dots, T_k$ prese in esame e, in particolare, per le cinque durate di cui il Servizio Idrografico elabora e pubblica i valori dei massimi annuali di altezza di precipitazione. Indicata con $F(h; \Omega_T)$ la forma parametrica scelta per rappresentare la (2), dove Ω_T denota il vettore dei parametri, la (2) viene particolarizzata stimando il valore dei parametri a partire dalle osservazioni sperimentali della variabile aleatoria H_T , ossia in base alle osservazioni riportate nei grafici precedenti. In genere, l'operazione viene condotta separatamente per ogni durata presa in esame all'interno di tale campo, ottenendo così una stima del vettore di parametri $\bar{\Omega}_{T_k}$ per ogni k -esima durata considerata.

Per un assegnato valore del periodo di ritorno, R , si eseguono poi alle previsioni statistiche, che vengono ottenute dall'inversa della funzione: $F(h; \bar{\Omega}_T)$ essa fornisce il quantile F -esimo, ovvero la previsione R -ennale $\bar{h}_R(T)$. Iterando la procedura (denominata spesso *metodo dei quantili*), per ognuna delle varie durate esaminate ed interpolando, quindi, le previsioni, si giunge ad una relazione empirica tra i valori di h e di T , utile a valutare la variabilità dell'afflusso meteorico $h_R(T)$ con la durata, avendo prefissato un certo periodo di ritorno

quale indice di rischio meteorologico. In Italia, come in altri paesi europei, la forma della curva sul piano $h-T$ a R fissato è descritta mediante una legge di potenza del tipo:

$$h_R(T) = a(R) T^{v(R)} \quad (5)$$

i cui parametri $a(R)$ e $v(R)$, secondo questa procedura, dipendono dallo specifico quantile preso in esame, ossia dal periodo di ritorno considerato. I valori di a e di v vengono di solito stimati mediante una regressione ai minimi quadrati delle previsioni R -ennali, sulle rispettive durate. Ciò comporta la soluzione del problema di stima dei parametri della (2) per ogni durata esaminata e di quelli della (5) per ogni periodo di ritorno R preso in considerazione. Questa proliferazione delle stime parametriche, aumenta le incertezze, per via della varianza di stima associata ad ognuno dei numerosi parametri che vengono stimati.

Formulazione Scala-Invariante

La legge di potenza espressa dalla (5) scaturisce in origine da un'impostazione puramente deterministica (Supino, 1965) sottintende una proprietà fisica che caratterizza spesso i nubifragi, nota come *invarianza di scala*. Questa proprietà, espressa dalla:

$$\frac{Z_{\lambda T}(t)}{Z_T(t)} = \lambda^n \quad (6)$$

indica come il rapporto tra l'altezza di pioggia per una durata λT e quella per una durata T sia pari al fattore di scala λ tra le durate elevato ad un opportuno esponente n , legato alla fisica del fenomeno. In altre parole, la (6) esprime la proprietà che il fenomeno di precipitazione esaminato a due scale temporali differenti si presenta *auto-somigliante*, a meno di un fattore di scala. Le implicazioni di questa proprietà del fenomeno naturale consentono di giungere ad una formulazione della curva (a R fissato sul piano $h-T$) formalmente analoga alla (5), ma giustificata sulla base di proprietà fisiche osservabili nei dati misurati. In particolare, tra le proprietà che derivano dall'ipotesi di invarianza di scala in probabilità va ricordata quella relativa ai momenti di ordine qualsiasi, poiché sarà utilizzata per verificare il comportamento scala-invariante delle osservazioni di pioggia registrate nelle stazioni del bacino del Lavagna. In virtù di tale proprietà, i momenti di qualsiasi ordine si riscaldano secondo un fattore di scala, λ elevato ad un esponente multiplo dell'esponente relativo al momento del primo ordine, secondo l'ordine considerato. In altre parole vale la:

$$E[H_{\lambda T}^j] = \lambda^j E[H_T^j] \quad j = 1, 2, 3, \dots \quad (7)$$

Rimandando alla letteratura specialistica precedentemente citata per i dettagli tecnico-scientifici, che conducono alla formulazione qui riportata, la (5) si può comunque scrivere, nell'intervallo $[T_{inf}, T_{sup}]$ di durate entro il quale la precipitazione si presenta scala-invariante nel tempo, come:

$$h_R(T) = \mu_1 (1 + VK_R) T^n \quad (8)$$

che identifica la famiglia di linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per la stazione in esame in funzione di tre soli parametri: l'esponente di scala, n , il coefficiente di variazione globale, V , e la media della massima altezza di pioggia caduta nella durata di riferimento unitaria, μ_1 ; K_R rappresenta invece il fattore di frequenza, dipende soltanto dal tipo di modello probabilistico scelto per la (2), e viene determinato spesso in funzione del solo livello di rischio, ovvero del periodo di ritorno. La stima dei parametri si riduce, in questo caso, alla determinazione di μ_1 , n , e V . Il valore dei primi due può essere definito stimato mediante la regressione delle medie di altezza di pioggia stimate per le varie durate, contro

le stesse durate esaminate (il problema si riduce al semplice caso lineare operando la trasformazione logaritmica delle variabili). A sua volta, la stima di V è fornita dal coefficiente di variazione globale valutato in base alla varianza delle altezze adimensionalizzate rispetto alla media. La linea segnalatrice di probabilità pluviometrica scala-invariante così definita resta dunque completamente specificata quando sia scelto il modello probabilistico (2), da cui dipende il valore del fattore di frequenza, K_R .

Se il modello probabilistico è, come nel caso delle stazioni del bacino del Lavagna, quello di Gibrat-Galton (o legge *lognormale* a 2 parametri, LN2), la funzione di affidabilità è espressa dalla:

$$F(h) = \int_0^h \frac{1}{\xi \sigma_{LT} \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln \xi - \mu_{LT}}{\sigma_{LT}} \right)^2 \right] d\xi \quad (9)$$

in cui μ_{LT} e σ_{LT} rappresentano la media e la deviazione standard di $\ln H_T$, che sono legate ai momenti campionari dalle relazioni:

$$\mu_{LT} = \ln E[H_T] - 0.5 \ln(1 + \text{var}[H_T] / E^2[H_T]) \quad (10)$$

$$\sigma_{LT} = \sqrt{\ln(1 + \text{var}[H_T] / E^2[H_T])} \quad (11)$$

la formulazione della linea segnalatrice secondo la forma compatta (8) non è la più conveniente, poiché K_R dipende anche dal coefficiente di variazione. In questo caso, la legge $h_R(T)$ può essere espressa in forma compatta dalla:

$$h_R(T) = \mu_1 \frac{\exp \left[\Phi_R \sqrt{\ln(1 + V^2)} \right]}{\sqrt{(1 + V^2)}} T^n \quad (12)$$

dove V indica sempre il coefficiente di variazione globale, μ_1 la media dei massimi di pioggia per la durata unitaria e n l'esponente della legge d'invarianza di scala; mentre Φ_R rappresenta il fattore di frequenza, che corrisponde all'inversa della funzione di distribuzione di probabilità normale standard calcolata in $1-1/R$.

Formulazione Dissipativa

Quando la proprietà dell'invarianza di scala non vale nel campo di durate considerato, le osservazioni di precipitazione mostrano, generalmente, la tendenza ad uno smorzamento delle caratteristiche di fluttuazione al diminuire della scala temporale, che viene considerata. La variabilità del processo integrale (espressa, p. es., dalla varianza) tende cioè a diminuire più rapidamente di quanto non faccia la media del processo stesso, al diminuire della durata T considerata. In questi casi non può perciò essere soddisfatta l'ipotesi di invarianza di scala in senso debole, rappresentata dalla (7), e, di conseguenza non è più possibile esprimere le linee segnalatrici secondo una relazione del tipo della (8) per l'intero arco delle durate considerate. Il modello dissipativo si fonda quindi sull'ipotesi che, al crescere dell'ordine dei momenti, le relative relazioni di scala, prima espresse dalla (7) siano ora esprimibili come:

$$E[H_{\lambda T}^j] = \lambda^{j\varphi(j)} E[H_T^j] \quad j=1, 2, 3, \quad (13)$$

dove la funzione $\varphi(j)$ è una funzione uniformemente convessa (cioè $d^2\varphi/dj^2 > 0 \quad \forall j > 0$) o, in alternativa, concava (cioè $d^2\varphi/dj^2 < 0 \quad \forall j > 0$), denominata funzione di dissipazione e propria dei sistemi stocastici dissipativi. Per questa ragione il modello dissipativo è anche

indicato come modello multiscala, in contrapposizione a quello scala-invariante. Il caso dell'invarianza di scala rappresenta peraltro un caso particolare della (13), cioè quello in cui $\varphi(j)=1, \forall j>0$, con conseguente degenerazione della (13) nella (7). Nel caso multiscala quindi, i momenti dei diversi ordini saranno caratterizzati da relazioni di scala con esponenti differenti, vale a dire, riscrivendo la (13) con notazione simile alla (7):

$$E[H_{\lambda T}^j] = \lambda^{jn_j} E[H_T^j] \quad (14)$$

dove n_j è l'esponente della relazione di scala per il momento del generico ordine j -esimo. Quindi, tanto il coefficiente di variazione, quanto quelli di asimmetria e di appiattimento non costituiscono più delle caratteristiche invarianti con la durata, ma variano con essa.

La relazione che esprime la linea segnalatrice di probabilità pluviometrica diventa in questo caso:

$$h_R(T) = \mu_1 \left(1 + K_R \sqrt{(\mu_1 \mu_2)^2 T^{2(n_2-n_1)} - 1} \right) T^{n_1} \quad (15)$$

dove μ_1 rappresenta ancora la media dei massimi di pioggia per una durata unitaria e n_1 l'esponente della legge di scala, che caratterizza il momento del primo ordine; mentre μ_2 indica il valore del momento del secondo ordine, anch'esso per una durata unitaria, e n_2 l'esponente della legge di scala, che caratterizza il momento del secondo ordine. La stima di questi quattro parametri viene condotta, analogamente al caso scala-invariante, tramite la regressione dei momenti delle altezze di pioggia stimate, per le varie durate, sulle stesse durate considerate.

Il fattore di frequenza, K_R , come nel caso della linea segnalatrice scala-invariante, dipenderà dal modello probabilistico adottato per rappresentare il campione delle osservazioni. Va tuttavia osservato come non tutti i modelli probabilistici siano in grado di descrivere un comportamento dissipativo (Appendice A - Previsione statistica del rischio idrometeorologico): il modello di Gumbel, ad esempio, presenta valori dei coefficienti di asimmetria (terzo momento centrale) e di appiattimento (quarto momento centrale) costanti, indice di un comportamento tutt'altro che dissipativo. Sotto questo profilo, il modello che meglio si presta è quello lognormale (Burlando e Rosso, 1996). In questo caso, la linea segnalatrice diventa:

$$h_R(T) = \frac{\mu_1^2}{\mu_2} \exp \left(\Phi_R \sqrt{2 \ln \left[(\mu_2 / \mu_1) T^{(n_2-n_1)} \right]} \right) T^{2n_1-n_2} \quad (16)$$

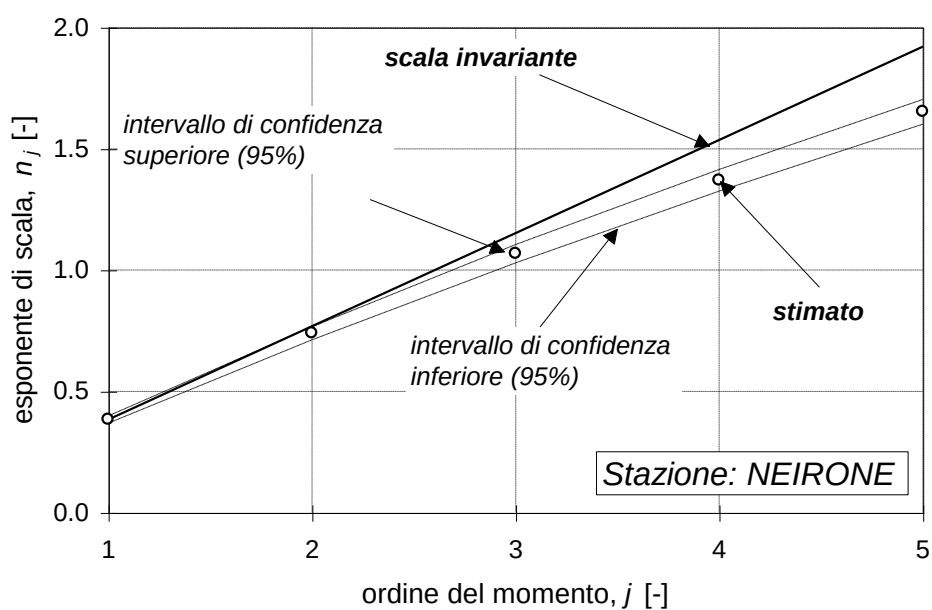
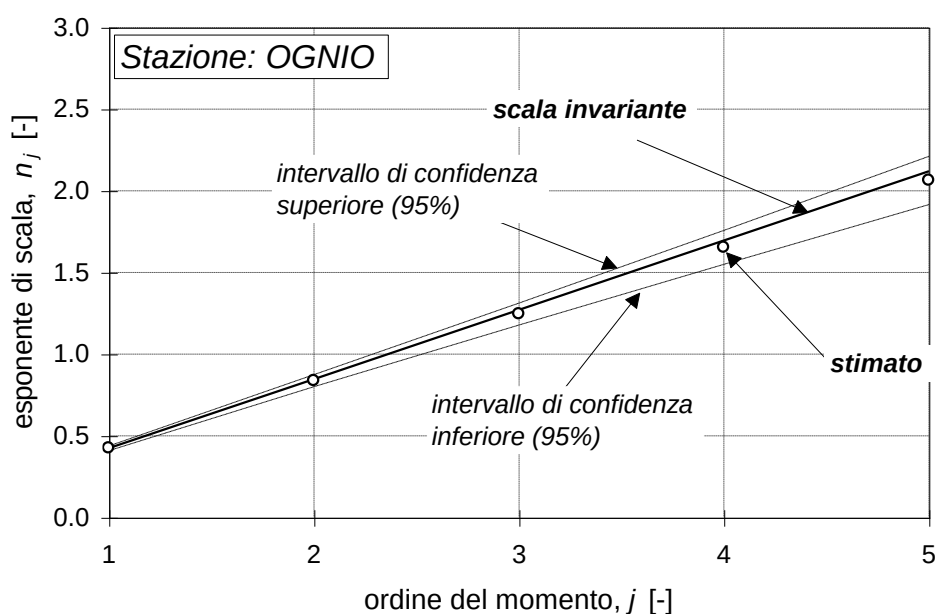
dove Φ_R ancora rappresenta il fattore di frequenza normale standard, che corrisponde all'inversa della funzione di distribuzione di probabilità normale standard calcolata in $1-1/R$. In pratica, il modello scala-invariante si può considerare come un caso particolare del modello dissipativo, in cui l'effetto di smorzamento è trascurabile al diminuire della scala di riferimento.

LSPP per le Stazioni del Bacino del Lavagna

Utilizzando la formulazione delle linee segnalatrici descritta al paragrafo precedente, si sono determinate per le stazioni indicate precedentemente le curve di crescita dell'altezza di pioggia temibili al crescere della durata per un assegnato valore del periodo di ritorno. In via preliminare, si è verificato per ciascuna stazione quale modello fosse più adatto a descrivere il comportamento delle precipitazioni dal punto di vista fisico, se quello scala-invariante o quello dissipativo. A tal fine si sono calcolati gli esponenti di scala per i momenti dei primi

quattro ordini: nella Tabella e nelle due figure di seguito presentati sono riportati sia un esempio di comportamento scala-invariante sia uno di comportamento multiscala.

<i>ordine del momento</i>	<i>esponente di scala</i>	
	NEIRONE	OGNIO
1	0.384	0.424
2	0.740	0.837
3	1.068	1.246
4	1.370	1.654



Se si tiene conto delle proprietà stabilite dalle relazioni (7) e (14), si può osservare come alcune delle stazioni considerate presentino un comportamento scala-invariante, altre dissipativo. In particolare, tutte le stazioni analizzate interne al bacino - Neirone e Piana di Soglio - risultano caratterizzate da un comportamento dissipativo⁴. Per tutte le stazioni, incluse quelle fuori bacino, considerata la prevalenza di stazioni a comportamento multiscala, come riportato in Tabella:

COMPORTAMENTO SCALA-INVARIANTE E MULTISCALA DELLE STAZIONI CONSIDERATE

STAZIONE	PROPRIETA' DI SCALA
Scoffera	SJ ⁽¹⁾
S. Ilario	SI
Colonia A.	MS ⁽²⁾
S.Pietro di N.	MS
S.Margherita L.	SI
Chiavari	MS
Neirone	MS
Piana di S.	MS
Tigliolo	MS
Giacopiane	MS
S.Michele	MS
Cichero	MS
Statale	SI
Panexi	SI
Castiglione Chiav.	SI
Montale di L.	MS
La Spezia	MS

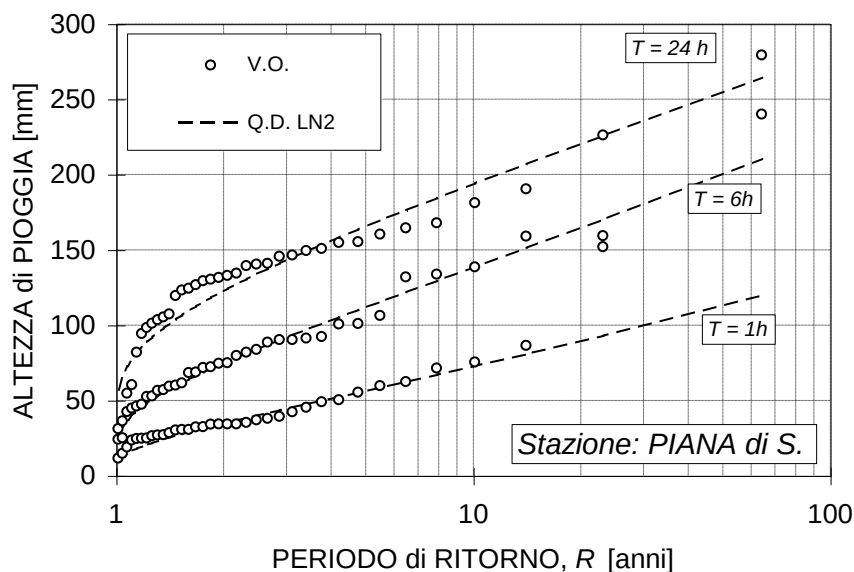
Note:

(1) SI = Scala-Invariante. (2) MS = MultiScala.

è stato adottato il modello lognormale⁵, che ha mostrato comunque un buon adattamento ai campioni osservati per le diverse durate nelle differenti stazioni, come si può verificare nel grafico di seguito riportato.

⁴ Risulterebbe a comportamento scala-invariante la sola stazione di Ognio, che tuttavia non è stata considerata a causa della numerosità delle osservazioni, inferiore a 20.

⁵ In virtù di quanto meglio precisato in Appendice B4, il modello lognormale soddisfa le condizioni imposte sia dall'ipotesi di scala-invarianza che di comportamento dissipativo (multiscala).



Le relazioni, che determinano le linee segnalatrici di probabilità pluviometrica, sono rispettivamente la:

$$h_R(T) = \mu_1 \frac{\exp\left[\Phi_R \sqrt{\ln(1+V^2)}\right]}{\sqrt{(1+V^2)}} T^n \quad (17)$$

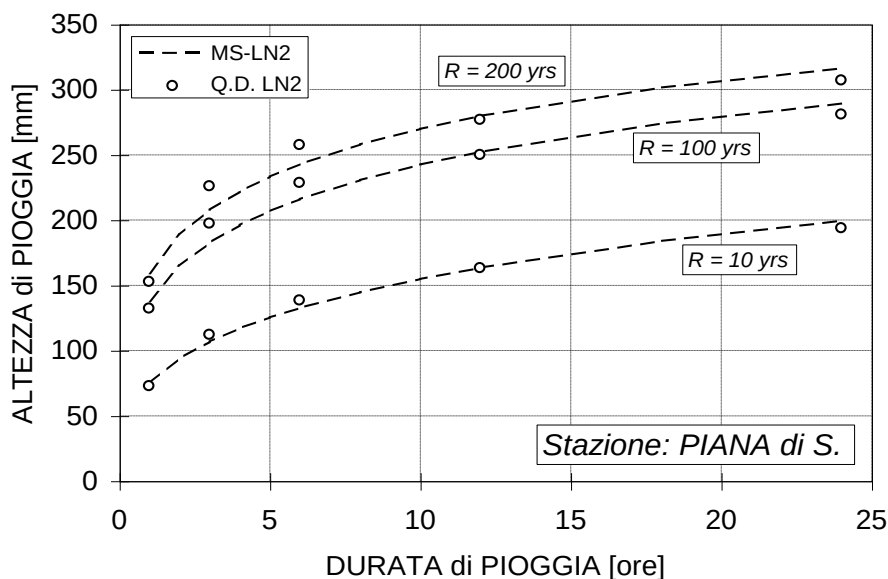
per le stazioni scala-invarianti e la:

$$h_R(T) = \frac{\mu_1^2}{\mu_2} \exp\left(\Phi_R \sqrt{2 \ln\left[(\mu_2/\mu_1) T^{(n_2-n_1)}\right]}\right) T^{2n_1-n_2} \quad (18)$$

per le stazioni multiscala. La stima dei parametri, condotta in base a quanto illustrato nel paragrafo precedente, porge per la Stazione di Neirone assunta come riferimento a titolo di esempio, i valori di seguito presentati:

μ_1 , [mm/h ^{-n₁}]	48.3
μ_2 , [mm/h ^{-n₂}]	2545.4
n_1 , [-]	0.424
n_2 , [-]	0.419

I valori così stimati consentono di tracciare sul piano $h-T$ le linee segnalatrici stesse, per diversi periodi di ritorno R , come riportato nella figura seguente.



Determinazione del rischio idrologico

Il rischio idrologico, legato al verificarsi dei fenomeni di piena nei corsi d'acqua, non è prevedibile in termini strettamente deterministici. In primo luogo, l'idrogramma di piena, che si verifica in una certa sezione fluviale, dipende dalle caratteristiche meteorologiche del nubifragio, ossia di un fenomeno intrinsecamente imprevedibile con un congruo anticipo. Non ultimo, la trasformazione degli afflussi meteorici in ruscellamento superficiale ed in deflusso alveato costituisce, a sua volta, una fenomenologia assai complessa; essa è caratterizzata da rilevanti effetti non-lineari ed è difficile da prevedere con assoluta certezza, a causa delle notevoli indeterminazioni legate alla stima dei parametri che influiscono sulla dinamica del ruscellamento, sulla dispersione idrografica lungo la rete fluviale e sulla propagazione lungo il suo corso principale. Di conseguenza, il rischio idrologico viene generalmente valutato in termini probabilistici, descrivendo la possibilità che un determinato evento possa verificarsi attraverso la distribuzione di probabilità della variabile idrologica che meglio caratterizza le piene fluviali: il valore massimo della portata al colmo di piena che si può verificare in un generico anno (*portata al colmo di piena massima annuale*, che si indica con il simbolo Q_p e le cui realizzazioni, ossia i valori osservati od osservabili, sono indicati con q_p).

Nota la funzione:

$$F_{Q_p}(q_p) = \Pr[Q_p \leq q_p] \quad (19)$$

per la sezione idrografica di interesse, è quindi possibile valutare il rischio idrologico introducendo il concetto di periodo di ritorno, R , associato ad un qualsivoglia valore di portata, q_p , che si può verificare in quella sezione. Il periodo di ritorno, dato da:

$$R = 1 / [1 - F_{Q_p}(q_p)] = 1 / \Pr[Q_p > q_p] \quad (20)$$

rappresenta il valore atteso dell'intervallo temporale tra due eventi di piena con portate superiori al valore q_p ; ovvero, per eventi di piena mutuamente indipendenti (com'è naturale supporre per la relativa rarità di queste manifestazioni naturali) il valor medio del tempo di attesa di una piena con portata al colmo maggiore di q_p . Le relazioni (19) e (20) forniscono il

rischio assoluto, ossia indicano con quale probabilità o con quale tempo di ritorno si può manifestare, in assoluto, l'evento idrologico $\{Q_p > q_p\}$.

Se invece si vuole conoscere il rischio con cui l'evento $\{Q_p > q_p\}$ può manifestarsi in un lasso di tempo pari a L , si deve calcolare il *rischio relativo*, espresso dalla relazione:

$$r = \Pr[Q_p > q_p \text{ almeno una volta in } L \text{ anni}] = 1 - [1 - 1/R]^L = 1 - [F_{Q_p}(q_p)]^L \quad (21)$$

La funzione (21) consente di valutare l'impatto del rischio idrologico sull'ambiente naturale e antropico, in relazione ad un dato orizzonte di vita, L , economico o sociale, riferito al territorio in esame, alle opere di asservimento e di sistemazione, ai beni ed alle persone interessati ai fenomeni alluvionali. Per esempio, se alla portata q_p corrispondesse una probabilità di non superamento del novantanove per cento, vale a dire:

$$F_{Q_p}(q_p) = \Pr[Q_p \leq q_p] = 0.99 \quad (22)$$

il relativo periodo di ritorno sarebbe stimabile in:

$$[1/(1 - 0.99)] = 100 \text{ anni} \quad (23)$$

ma la probabilità che almeno un evento siffatto si verifichi in un orizzonte L di dieci anni sarebbe pari a $(1 - 0.99^{10}) = 0.096$, ossia quasi del 10%.

La valutazione della vulnerabilità idrologica di un bacino richiede la valutazione della funzione di probabilità $F_{Q_p}(q_p)$, spesso citata in seguito con l'abbreviazione di CDF, la cui conoscenza permette di calcolare il rischio idrologico, sia in termini assoluti che relativi.

Metodi per la Determinazione del Rischio Idrologico

La storia più recente dell'idrologia comprende numerosi studi volti ad identificare il legame funzionale tra i valori delle portate di piena e le probabilità ad esse associate, espresso nel paragrafo precedente dalla (19). Poichè, la (1) mira ad una previsione in senso statistico, tali studi sono indicati sotto il nome di *analisi di frequenza delle piene* (Rosso, 1981). La soluzione più diffusa, tra i metodi di analisi di frequenza delle piene, è fornita dall'applicazione dei metodi puramente statistici, basati sulla ricerca del migliore adattamento di una assegnata forma analitica della CDF ai dati osservati direttamente nel sito di interesse durante un periodo più o meno lungo. Questa impostazione, che pur fornisce la soluzione più immediata dal punto di vista teorico, spesso può non risultare in pratica la più conveniente; questa circostanza è essenzialmente a due ordini di fattori.

Il primo fattore va ricondotto alle serie di osservazioni storiche, che, anche se disponibili per il sito in esame, non sempre risultano di lunghezza sufficiente a garantire stime affidabili, poichè i dati non superano nella maggior parte dei casi le poche decine di anni. L'applicazione dell'analisi di frequenza su scala locale in simili circostanze, pur essendo una prassi comune, non può che suscitare qualche perplessità. Per la stessa natura di questo tipo di analisi, risulta infatti evidente come l'attendibilità dei risultati dipenda fortemente dalla quantità e dalla qualità delle osservazioni disponibili, sia in termini di identificazione del modello probabilistico sia di stima dei suoi parametri (Rosso, 1985). Una delle conseguenze più evidenti è rappresentata dalle discrepanze, spesso marcate, che si riscontrano nei risultati forniti da modelli probabilistici differenti; un'altra, non secondaria, è la scarsa robustezza delle stime previsionali ottenuta. L'insufficiente quantità di informazione disponibile nei singoli siti è peraltro testimoniata dall'accentuata variabilità delle statistiche campionarie che si riscontra anche in zone che sarebbe ragionevole supporre idrologicamente simili od omogenee. Nello specifico caso del Torrente Lavagna, l'unica serie

di osservazioni idrometriche disponibile per la stazione di San Martino presenta una lunghezza sufficientemente consistente per poter identificare il tipo di distribuzione di probabilità dei colmi di piena, nonché per la validazione del modello proposto per l'analisi del rischio idrologico.

Il secondo fattore, che induce a ricercare strade alternative all'analisi locale, è legato al fatto che la legge probabilistica così identificata e stimata può essere usata con piena affidabilità solo per i siti osservati o per siti ad essi prossimi. L'estrapolazione lungo il reticolo idrografico comporta l'introduzione di ulteriori incertezze. Questo fatto costituisce un grave limite, vista la necessità di pervenire, nella maggior parte dei casi di interesse pratico, a valutazioni probabilistiche delle portate di piena proprio per siti con pochissime o addirittura nessuna osservazione diretta fatta in passato. Infatti, i bacini idrografici dotati di strumenti per la misura e la registrazione di dati idrometrici istantanei sono generalmente in numero estremamente limitato e con un periodo di osservazione che raramente supera i cinquanta anni. Poiché in molti casi è richiesta la valutazione della portata al colmo con bassa probabilità di superamento, sarebbe invece necessario disporre di periodi di osservazione molto lunghi. Non fa eccezione il caso in esame, per il quale, come già è stato riportato, si dispone di un'unica serie di portate al colmo.

Per superare i limiti appena citati, che restringono ad un uso locale il legame funzionale individuato tra portata di piena e frequenza nella stazione di misura, è dunque necessario ricorrere ad una informazione idrometrica più ampia, che consenta di individuare un legame funzionale valido per una porzione di territorio solitamente corrispondente ad un bacino o ad una regione idrologica. Le metodologie che rendono possibile quest'operazione vanno sotto il nome di metodi di *regionalizzazione* ed hanno lo scopo di pervenire ad un modello probabilistico valido per gruppi di bacini idrografici omogenei tra loro in senso geografico, geomorfologico o statistico. Il concetto di fondo alla base di questi metodi è costituito dalla *similitudine idrologica*, ossia dall'analogia di comportamento idrologico più o meno marcata, tra bacini diversi dotati di alcune caratteristiche comuni.

Un'alternativa alle procedure di stima regionale, anche in ragione delle incertezze introdotte dalle tecniche di inferenza regionale, è costituita dalla derivazione della distribuzione di probabilità (CDF) delle portate al colmo a partire da quella della sollecitazione meteorica, seguendo un percorso di derivazione analitica basato su una plausibile schematizzazione della trasformazione afflussi-deflussi (Adom et al., 1989). In tal modo, la distribuzione derivata risulta funzione di alcuni parametri geomorfologici e climatici, che dipendono dalla particolare schematizzazione adottata per rappresentare il processo di precipitazione e la trasformazione afflussi-deflussi; tali parametri sono generalmente noti, o comunque calcolabili, in qualunque punto del bacino: risulta così possibile, almeno in linea di principio, pervenire ad una stima delle portate di massima piena per qualunque sezione del corso d'acqua in esame, ivi comprese quelle sezioni ove non si disponga di osservazioni idrometriche adeguate alla stima diretta tramite il metodo dell'inferenza statistica. Inoltre, questo tipo di procedura consente l'uso, laddove se ne disponga, di informazioni *distribuite* sull'area in esame, sia di tipo topografico e, più in generale, geolitologico e geomorfologico, sia di tipo urbanistico e territoriale, sia di tipo climatologico e, soprattutto, pluviometrico. Le semplificazioni, spesso drastiche, operate nella concettualizzazione dei fenomeni naturali, al fine di rendere analiticamente praticabile il percorso di derivazione, limitano la capacità di tali modelli nel riprodurre l'intero andamento della distribuzione di frequenza delle osservazioni senza tuttavia comprometterne troppo l'applicazione alla maggior parte dei casi pratici.

Valutazione del Rischio Idrologico nel Bacino del Lavagna

Secondo quanto introdotto nel paragrafo precedente ed in ragione delle esigenze di questo Piano, il rischio idrologico nel bacino del Lavagna è stato valutato adottando il principio della derivazione della funzione di distribuzione di probabilità delle portate massime annuali a partire da una schematizzazione geomorfoclimatica del fenomeno di piena. Con questo procedimento, la distribuzione dei colmi di piena è ottenuta a partire dalle proprietà statistiche della precipitazione e dalle caratteristiche del bacino sotteso dalla sezione in esame; i parametri della CDF sono stimati, per ogni sezione di interesse, dall'esame delle caratteristiche climatiche e dell'assetto geomorfologico così come rilevabile dalle rappresentazioni cartografiche tradizionali - topografiche e tematiche - prodotte all'interno del Piano. Si ricava in tal modo una stima del colmo di piena per assegnato tempo di ritorno in qualunque sezione della rete idrografica, tenendo conto dei caratteri geomorfoclimatici propri del bacino sotteso dalla sezione stessa. In particolare, nel tentativo di ovviare alle limitazioni imposte dalla necessità di rendere analiticamente praticabile il percorso di derivazione, l'impostazione analitica è limitata alla derivazione dei momenti del secondo ordine del processo dei colmi di piena.

Inoltre, per una maggiore completezza la valutazione probabilistica del rischio condotta in questi termini è stata affiancata dalla tradizionale, ben nota e ancora accettata metodologia che va sotto il nome di *curva inviluppo*. Essa esprime il valore dei massimi contributi unitari di piena osservati nei diversi bacini di una determinata area geografica in funzione dell'area di questi ultimi e consente anch'essa una valutazione della portata temibile per qualunque sezione del corso d'acqua in esame, nota l'area di bacino sotteso⁶. Poichè la curva inviluppo fornisce un valore di portata presumibilmente osservato (od osservabile) storicamente, l'uso congiunto con il modello geomorfoclimatico consente di stabilire il livello di frequenza probabile associato al valore inviluppo, valutandone l'effettivo periodo di ritorno.

Rischio Idrologico Secondo il Modello Probabilistico Geomorfoclimatico

In sintesi, la procedura necessaria a costruire il modello probabilistico geomorfoclimatico, richiede:

- la taratura del modello matematico di precipitazione che descrive la sollecitazione meteorica locale in un punto considerato come teorico centro di scroscio;
- l'individuazione della legge di ragguaglio all'area delle precipitazioni locali;
- la taratura del modello di assorbimento del terreno e del modello di trasformazione ruscellamento-deflusso alveato lungo la rete idrografica.

Con queste operazioni si perviene alla stima delle statistiche del secondo ordine del processo di colmi di piena, vale a dire la media μ_{Q_p} e la varianza $\sigma_{Q_p}^2$, a partire dai quali, una volta specificata la forma analitica della CDF delle portate al colmo di piena è possibile determinare la relazione funzionale tra portata al colmo di piena e la frequenza di superamento. La forma analitica della CDF è determinata in base alle osservazioni storiche disponibili per almeno una stazione idrometrica, nel caso specifico costituita dalla serie osservata nella stazione di San Martino.

In particolare, nell'ipotesi che:

- le precipitazioni possano essere rappresentate attraverso il modello IPM, ovvero un modello

⁶ In realtà il metodo della *curva inviluppo* presenta un limite inferiore di validità per i bacini liguri con foce al litorale tirrenico; tale limite corrisponde a valori dell'area sottesa dalla sezione del corso d'acqua inferiori ai 10 km².

poissoniano ad impulsi rettangolari indipendenti identicamente distribuiti secondo un modello di tipo esponenziale (Eagleson, 1972; Bacchi et al., 1987);

- la legge che regola la loro attenuazione nello spazio risponda alle proprietà caratteristiche dei processi scala-invarianti nello spazio (Burlando e Rosso, 1991);
- il fenomeno della formazione del ruscellamento, ossia del rifiuto del bacino ad assorbire una quota parte delle acque di pioggia, venga descritto dal metodo del Curve Number (CN) del Soil Conservation Service (SCS) formulato dal servizio tecnico del Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti (USDA-U.S. Department of Agriculture, 1972);
- la portata al colmo di piena associata al generico evento meteorico sia espressa in via approssimata secondo la nota formula razionale:

$$Q_p = A I_r \varepsilon(I_r, T_r) \quad (24)$$

- ove A indica la superficie del bacino sottesa dalla sezione in esame, I_r e T_r sono rispettivamente la durata e l'intensità media della precipitazione netta sul bacino del ruscellamento, assunta costante nel tempo, e $\varepsilon(I_r, T_r)$ rappresenta un fattore di attenuazione, che dipende dallo specifico modello adottato per la trasformazione afflussi-deflussi e che rappresenta l'effetto di laminazione dovuto al ruscellamento sui versanti ed alla propagazione lungo la rete di drenaggio nel suo insieme (Bacchi et al., 1989);

è possibile derivare, mediante un'approssimazione del secondo ordine (Bacchi e Rosso, 1988), i momenti del secondo ordine della variabile portata al colmo, vale a dire la media e la varianza, μ_{Q_p} e $\sigma_{Q_p}^2$. Essi sono espressi rispettivamente dalle relazioni:

$$\mu_{Q_p} \cong A \mu_p \mu_t^{-1} \eta \left\{ \left[(1 - \exp(-\chi))(1 + k^2) - k^2 \chi \exp(-\chi)(1 + \chi/2) \right] \right. \\ \left. \left[1 + 3 \cdot k^2 (1 - \eta)^2 \right] + k(2 - \eta) \left[\exp(-\chi)(1 + \chi) - 1 \right] \right\} \quad (25)$$

$$\sigma_{Q_p}^2 \cong A^2 \mu_p^2 \mu_t^{-2} k^2 \eta^2 \left\{ \left[1 + 3k^2 (1 - \eta)^2 \right]^2 \cdot \left[(\chi + 1) \exp(-\chi) - 1 \right]^2 \right. \\ + 2 \left[1 + 3k^2 (1 - \eta)^2 \right] \cdot (2 - \eta) \cdot \left[(\chi + 1) \exp(-\chi) - 1 \right] \left[1 - \exp(-\chi) \right] \\ \left. + 3(2 - \eta)^2 \left[1 - \exp(-\chi) \right]^2 \right\} \quad (26)$$

ove si è indicato con:

A = l'area di bacino sottesa dalla sezione di interesse,

m_p = l'altezza media di pioggia di un generico nubifragio, ottenuta come prodotto della relativa intensità media, m_i , per la durata media, m_t , essendo m_i il parametro del modello esponenziale che descrive l'intensità di un evento e m_t di quello che ne descrive la durata,

h = il rapporto tra l'altezza media di precipitazione di un evento meteorico, m_p , e la quantità $(\mu_p + S)$, cioè $h = m_p / (\mu_p + S)$, dove S rappresenta il massimo volume specifico che può essere invasato nel terreno durante un nubifragio e che viene determinato, come detto nelle ipotesi, tramite il metodo CN-SCS,

c = il rapporto tra la durata media di un evento, m_t , e il tempo di ritardo, che caratterizza la risposta del bacino, t_L , cioè $c = m_t / t_L$,

k^2 = il coefficiente di attenuazione spaziale della sollecitazione meteorica.

In altre parole, il modello di derivazione geomorfoclimatica porge le statistiche della portata

al colmo di piena, Q_p , in funzione dei parametri del modello di precipitazione locale e di tre parametri adimensionali, c , h e k^2 , i quali rappresentano, rispettivamente, l'interazione tra la durata media degli eventi meteorici ed il tempo di ritardo del bacino, tra il volume specifico medio dei nubifragi e la capacità di assorbimento del terreno e, infine, tra la struttura di correlazione spaziale del campo di pioggia e la dimensione e la forma dell'area drenata. In base ai valori ottenuti con le (23) e (24) è sufficiente specificare la forma della CDF dei massimi annuali delle portate al colmo per ottenere la relazione funzionale tra Q_p e il tempo di ritorno corrispondente ad assegnati livelli di probabilità di superamento. In particolare, nell'ipotesi che i colmi di piena sopra una soglia, q_1 , siano tra loro indipendenti e identicamente distribuiti secondo una distribuzione di Pareto:

$$F(q) = 1 - \left(\frac{q_1}{q} \right)^\theta, \quad \theta > 0, \quad q \geq q_1 \geq 0, \quad (27)$$

si può dimostrare come la legge del massimo annuale dei colmi di piena, $F_{Q_p}(q_p)$, corrisponda ad una distribuzione del valore estremo del secondo tipo (EV2), altrimenti nota come distribuzione di Frèchet ed espressa dalla relazione:

$$F_{Q_p}(q_p) = \exp(-\xi / q)^\theta \quad \theta > 0; \quad \xi > 0; \quad q \geq q_1 > 0 \quad (28)$$

dove si è posto:

$$\xi = q_1 \Lambda^{1/\theta} \quad (29)$$

ove L indica il numero degli eventi sopra la soglia q_1 . I parametri della (26), ossia x e q , sono legati ai momenti della distribuzione tramite la (27) e tramite le relazioni (Brath et al., 1992):

$$\theta = 1 + \sqrt{1 + \frac{1}{V_{Q_p}^2}} \quad (30)$$

$$q_1 = \mu_{Q_p} \frac{(\theta - 1)}{\theta} \quad (31)$$

dove $V_{Q_p} = \sigma_{Q_p} / \mu_{Q_p}$ indica il coefficiente di variazione di Q_p .

Utilizzando il modello geomorfoclimatico e, quindi, le (23) e (24) per esprimerne i momenti, la distribuzione viene a dipendere, attraverso i suoi parametri, dall'assetto geomorfoclimatico caratteristico del sistema. In particolare, essa viene a dipendere, oltre che dall'area sottesa dalla sezione, dall'intensità media e dalla durata media dei nubifragi, dal fattore di attenuazione spaziale delle precipitazioni, dalla massima capacità di ritenzione del terreno, dal tempo di ritardo caratteristico del bacino e dal numero medio annuo di colmi di piena indipendenti.

La dipendenza del modello probabilistico geomorfoclimatico da alcuni parametri che identificano l'assetto geomorfoclimatico del bacino, bene si presta ad un'applicazione distribuita che fornisca la previsione di piena per qualunque sezione del reticolo idrografico. Tuttavia ciò richiede la disponibilità di un'adeguata cartografia digitale, in grado di caratterizzare la topografia e i tematismi a carattere idrologico (ad es. geolitologia, pedologia e uso del suolo) del bacino in esame. In assenza di tale descrizione distribuita, il modello è ancora in grado di fornire la previsione di piena per qualunque sezione del reticolo idrografico, ma la sua applicazione richiede una onerosa elaborazione delle caratteristiche

del bacino, a partire da carte tematiche di tipo tradizionale, al fine di identificare i valori dei parametri caratteristici della porzione di bacino sottesa da ogni sezione di interesse. Nello specifico caso in esame, le elaborazioni sviluppate nel corso dello studio di Piano sono state interfacciate, al fine di ridurre l'onerosità delle stime con le caratteristiche del bacino individuate da un'analisi della cartografia regionale di riferimento (PTCP, Regione Liguria) e delle carte tematiche redatte nell'ambito del presente documento.

Rischio Idrologico Secondo il Metodo della Curva Inviluppo

Le valutazioni condotte con il modello appena proposto sono state affiancate dalle stime condotte con il metodo della *curva inviluppo*, ben noto nella pratica progettuale, specialmente nella Liguria tirrenica e in Toscana. Questo metodo lega all'area del bacino sotteso le massime portate di piena registrate storicamente in una regione idrologicamente omogenea. A tal scopo, esso parametrizza tale legame in una forma pseudo-iperbolica, che descrive abbastanza bene l'andamento del contributo unitario di piena al variare della superficie di bacino idrografico sottesa. Per la sua stessa natura, è evidente come tale curva andrebbe continuamente aggiornata, in conseguenza del verificarsi di nuove piene superiori a quelle osservate: una circostanza ormai ben nota e sperimentata.

Una formula pseudo-iperbolica, che si presta abbastanza bene a descrivere l'inviluppo dei massimi contributi unitari di piena, è data da:

$$q = q_0 + b A^{-n} \quad (32)$$

dove q_0 , b ed n sono tre parametri arbitrari, la cui stima si effettua, in modo assai semplice, imponendo alla (30) di assumere, per tre valori di superficie sottesa, i valori dei contributi unitari desunti dall'esperienza, vale a dire dalle osservazioni. Nel caso dei bacini liguri con foce al litorale tirrenico, la *curva inviluppo* di riferimento è quella formulata dal Cati (1970), che, utilizzando i dati relativi alle piene dell'Ottobre 1970 in alcuni bacini della Liguria, ha aggiornato la curva precedente, ferma agli eventi alluvionali del 1953. In particolare, la (30) risulta particolarizzata dalla:

$$q = 7.92 + 88.92 A^{-0.66} \quad (33)$$

per bacini con area compresa tra 10 e 160 Km² e come:

$$q = -70.10 + 108 A^{-0.056} \quad (34)$$

per bacini con area maggiore, dove q è espresso in m³/s km² e A in km².

Nonostante il suo uso consolidato nella pratica idrologica, va osservato come la (30) presenti notevoli limitazioni, sia strutturali che concettuali. Senza considerare le incertezze relative ai dati in base ai quali è ricavata, due limitazioni in particolare suggeriscono un uso cauto di questo metodo di valutazione. La prima riguarda il limite inferiore di validità della (30), che fornisce valori irrealistici al diminuire dell'area contribuyente A , soprattutto, quindi, per i bacini più piccoli⁷. La seconda, non meno significativa, riguarda l'impossibilità di assegnare alla curva inviluppo, per come viene derivata, un significato statistico e, quindi, un livello di frequenza caratteristico degli eventi con essa calcolati, che possono, per un assegnato tempo di ritorno, tendere ora a sovrastimare il valore delle portate di piena, ora a sottostimarli, a seconda delle osservazioni storiche alla base della costruzione della curva.

⁷ In realtà anche la procedura geomorfoclimatica presenta un limite inferiore al di sotto del quale il modello fornisce risultati dubbi: tale limite, variabile in generale secondo la capacità descrittiva dell'informazione cartografica tradizionale o digitale in relazione alla topografia, può essere assunto, nel caso specifico, pari a circa 1 km².

Portate di Piena lungo l'Asta del Lavagna e dei suoi Affluenti

Come sopra evidenziato, per il Torrente Lavagna è disponibile una serie storica di portate al colmo, osservate nella sezione di San Martino, pressoché alla confluenza con l'Entella. La valutazione delle portate al colmo con assegnato periodo di ritorno ha evidentemente beneficiato di tale serie storica, sotto due aspetti. Da un lato, essa costituisce un campione di osservazioni utilizzabile per la validazione della stima, dall'altro, è stata utilizzata per la stima a posteriori del parametro del modello di precipitazione. La disponibilità delle osservazioni storiche nella sezione di San Martino ha inoltre permesso di fare un confronto tra i valori ottenuti dal modello probabilistico geomorfoclimatico e quelli calcolati mediante la procedura regionale suggerita dal rapporto sulla "Valutazione delle Piene" (VAPI) pubblicato dal Consiglio Nazionale delle Ricerche (Rosso et al., 1996; Rosso, 1996; Brath et al., 1997; Brath e Rosso, 1994), ottenendo così una validazione aggiuntiva al confronto con i dati storici. Inoltre, il valore della portata di piena nelle varie sezioni è stato calcolato utilizzando anche la curva inviluppo equazioni (31) e (32) che, in assenza di studi specifici, costituisce ancora uno strumento ammesso dalla legislazione regionale.

Taratura del Modello Probabilistico Geomorfoclimatico per il Bacino del Lavagna

Seguendo quindi l'impostazione del modello geomorfoclimatico sono state innanzitutto determinate per l'asta principale del Lavagna e per un certo numero di sezioni di interesse i parametri, climatici e geomorfologici, necessari alla determinazione della portata indice.

In particolare sono stati determinati, per ogni stazione pluviometrica, i valori dei parametri del modello di precipitazione, vale a dire l'intensità media di un evento, μ_r , la sua durata media, μ_t , e il numero medio di eventi in un anno, Λ . La variabilità di tali valori, riportati in Tabella,

VALORI STIMATI DEI PARAMETRI DEL MODELLO STOCASTICO DI PRECIPITAZIONE IPM PER LE STAZIONI CONSIDERATE NELLA TARATURA DEL MODELLO GEOMORFOCLIMATICO

Stazione⁽¹⁾	μ_r [mm/ora]	μ_t [ore]	Λ [-]
S. Ilario	24.907	0.640	25
Colonia Arnaldi	18.949	0.973	22
S. Pietro di Novella	36.953	0.755	9
S. Margherita Ligure	30.804	0.489	20
Chiavari	34.905	0.615	15
Neirone	24.509	0.614	27
Piana di Soglio	34.908	0.645	19
Tigliolo	17.366	1.765	15
Giacopiane	13.851	1.382	22
San Michele	21.879	0.601	33
Cichero	27.563	0.528	23
Statale	23.184	0.824	24
Panexi	24.651	0.679	24
Castiglione Chiavarese	20.896	0.931	25
Montale di Levante	27.182	0.581	25
La Spezia	23.088	0.542	24
<i>Valori medi sull'area</i>	26.184	0.759	22
<i>Valori di stima "a posteriori"</i>	26.184	0.766	22

Nota: (1) In corsivo le stazioni interne al bacino.

ha tuttavia suggerito, al fine di conseguire una maggiore robustezza della stima, di considerare nel calcolo della portata indice una valutazione dei parametri del modello ottenuta mediando aritmeticamente i parametri puntuali calcolati per le stazioni interne al bacino e per quelle ricadenti nei bacini limitrofi. I parametri medi così stimati risultano in definitiva pari a $\mu_i=26.184$ mm/h, $\mu_t=0.759$ h, $\Lambda=22$ eventi/anno.

Inoltre, disponendo delle osservazioni di portata nella sezione di San Martino, è stata condotta una valutazione "a posteriori" del parametro di durata del modello IPM, determinando cioè a parità degli altri due parametri, quale sia il valore di Δt che produce il migliore adattamento della curva di crescita delle portate al colmo nella sezione di San Martino (Appendice A "Previsione statistica del rischio idrometeorologico"). A testimonianza della robustezza della stima, il risultato ottenuto $\mu_t=0.766$ h risulta di poco differente rispetto al valore medio sul bacino. La verifica della capacità del modello di cogliere le caratteristiche locali delle piogge intense, è stata condotta confrontando nel dominio altezza-durata-frequenza le linee segnalatrici di probabilità pluviometrica locali stimate a partire dai dati storici con i quantili calcolati utilizzando il modello stocastico IPM, ottenendo un sostanziale buon accordo nel campo di durate di interesse tecnico.

La taratura dei parametri geomorfologici ha richiesto, come precedentemente indicato, essenzialmente la stima del parametro di assorbimento il valore di CN e del parametro cinetico il tempo di lag, t_L .

La stima del parametro di infiltrazione, cioè dell'indice CN, ha richiesto l'individuazione, a partire dalle carte geolitologiche, pedologiche e di uso del suolo, delle caratteristiche di assorbimento secondo la chiave fornita dalla classificazione idrologica dei suoli e del loro uso proposta dal metodo SCS-CN, e presentata rispettivamente nelle seguenti Tabelle:

CLASSIFICAZIONE DEI TIPI IDROLOGICI DI SUOLO SECONDO IL METODO SCS-CN

TIPO IDROLOGICO DI SUOLO	DESCRIZIONE
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
D	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza delle superfici.

VALORI CARATTERISTICI DEL PARAMETRO CN_{II}⁽¹⁾

Valori del parametro CN (adimensionale)	←Tipo idrologico Suolo classe				
↓ Tipologia di Uso del Territorio	A	B	C	D	
Coltivazioni, in presenza di pratiche di conservazione del suolo	62	71	78	81	1

Coltivazioni, in assenza di pratiche di conservazione del suolo	72	81	88	91	2
Terreno da pascolo: cattive condizioni	68	79	86	89	3
buone condizioni	39	61	74	80	4
Boschi, in presenza di copertura rada e senza sottobosco	45	66	77	83	5
Boschi e foreste, in presenza di copertura fitta e con sottobosco	25	55	70	77	6
Spazi aperti con manto erboso superiore al 75% dell'area	39	61	74	80	7
Spazi aperti con manto erboso compreso tra il 50 ed il 75% dell'area	49	69	79	84	8
Spazi aperti con manto erboso inferiore al 50% dell'area	68	79	86	89	9
Zone industriali (area impermeabile 72%)	81	88	91	93	10
Zone commerciali e industriali (area impermeabile 85%)	89	92	94	95	11
Zone residenziali, lotti fino a 500 m ² (area impermeabile 65%)	77	85	90	92	12
Zone residenziali, lotti di 500÷1000 m ² (area impermeabile 38%)	61	75	83	87	13
Zone residenziali, lotti di 1000÷1500 m ² (area impermeabile 30%)	57	72	81	86	14
Zone residenziali, lotti di 1500÷2000 m ² (area impermeabile 25%)	54	70	80	85	15
Zone residenziali, lotti di 2000÷5000 m ² (area impermeabile 20%)	51	68	79	84	16
Zone residenziali, lotti di 5000÷10000 m ² (area impermeabile 12%)	46	65	77	82	17
Parcheggi, tetti, autostrade,	98	98	98	98	18
Strade pavimentate o asfaltate, dotate di drenaggio	98	98	98	98	19
Strade con letto in ghiaia	76	85	89	91	20
Strade battute in terra	72	82	87	89	21

Nota: (1) I valori sono determinati incrociando il tipo idrologico di suolo (Tabella 6.9) con la tipologia di uso del territorio. L'ultima colonna a destra indica la numerazione di corrispondenza tra la classe convenzionale di riferimento e la tipologia di uso del suolo secondo la classificazione SCS-CN.

interfaciando tale classificazione con le caratteristiche del bacino individuate dalla cartografia di riferimento. A tale scopo, nel corso del presente studio si è convenzionalmente assunto di suddividere la litologia del territorio regionale in dieci classi e l'uso del suolo in undici classi, come riportato in Tabella:

CLASSIFICAZIONE DELLE CLASSI LITOLOGICHE E DI USO DEL SUOLO

CLASSI LITOLOGICHE		CLASSI DI USO DEL SUOLO	
Classe	Tipologia	Classe	Tipologia
0	assenza di valore	0	assenza di valore
1	rocce argillose	1	area residenziale
2	rocce calcaree	2	area industriale
3	rocce arenacee	3	servizio urbano
4	rocce silicee	4	vegetazione arborea
5	rocce brecciodi	5	vegetazione arbustiva
6	rocce ofiolitiche	6	vegetazione erbacea
7	rocce cristalline	7	colture speciali
8	rocce metamorfiche	8	oliveto
9	coltri detritiche	9	vigneto
10	sedimenti	10	seminativo
-	-	11	area non vegetativa

Da tale interfacciamento è emersa, com'era inevitabile attendersi, una non perfetta corrispondenza tra la classificazione adottata e quella tabulata dal SCS: se, infatti, da un lato la prima si presenta più raffinata rispetto a quella del modello SCS-CN, individuando ben dieci classi rispetto alle quattro proposte dal modello americano, dall'altro tale

classificazione dell'uso del suolo risulta, con le sue undici classi contro ventuno, meno accurata rispetto a quella del metodo CN. Il problema è stato affrontato ipotizzando un criterio associativo tra le due classificazioni, espresso dalle corrispondenze riportate in Tabella:

CRITERIO DI CORRISPONDENZA TRA LE DUE CLASSIFICAZIONI

LITOLOGIA		USO DEL SUOLO	
CLASSE	SCS-CN	CLASSE	SCS-CN
0	A	0	0
1	D	1	16
2	B	2	12
3	C	3	10
4	B	4	7
5	B	5	6
6	B	6	5
7	D	7	1
8	C	8	2
9	A	9	1
10	B	10	1
-	-	11	20

che permette di identificare, per ogni area omogenea individuata dalla cartografia del bacino, la tipologia del terreno e l'uso del suolo in base alla tradizionale classificazione SCS, in modo da ricavare direttamente il valore del parametro di assorbimento. È tuttavia da sottolineare il fatto che tale criterio associativo è stato determinato secondo ipotesi piuttosto generali (quali, ad esempio, l'impermeabilità dei materiali argillosi), che, pur potendosi considerare corrette per una valutazione indicativa, richiederebbero un adeguato approfondimento di dettaglio⁸.

A tale proposito è inoltre opportuno rilevare come le indicazioni di tipologie ed usi del suolo emerse dalla cartografia tematica allegata al presente documento, presentino a tratti discordanze con quelle adottate nello sviluppo della presente metodologia. Tali incoerenze sono riconducibili alle differenze di scala presenti nei due casi.

Nell'ambito della presente analisi, il bacino è stato infatti suddiviso in diversi sottobacini, identificabili con una sigla di una o due lettere, ognuno dei quali è stato caratterizzato da un unico set di parametri del modello. Le altre aree scolanti di interbacino sono ugualmente prese in considerazione ma non sono identificate da lettere. In ogni sottobacino o area scolante è inserito un segmento che indica in maniera schematica l'andamento dell'asta fluviale principale.

Ciascuna estremità dei segmenti suddetti è identificata con una sezione di chiusura od intermedia del sottobacino o dell'area scolante. Ogni sezione risponde ad un codice costituito da un numero ed una lettera che richiamano il sottobacino di appartenenza. L'insieme degli elementi descritti in precedenza è inserito nella "Carta dei sottobacini e di ubicazione delle sezioni di chiusura".

⁸ Tale approfondimento è peraltro possibile sulla base di vaste indagini sperimentali, che competono tradizionalmente al settore della ricerca scientifica.

PARAMETRI DEL MODELLO GEOMORFOCLIMATICO PER LE SEZIONI DI INTERESSE					
ID. ⁽¹⁾	A, Km ²	CN ⁽²⁾ , -	S, mm	t _L , h	k ² , -
1A	162.6	67	125.1	2.78	0.640
2A	161.5	67	125.1	2.77	0.640
1P	1.00	73	93.9	0.72	0.9
4A	159.7	67	125.1	2.77	0.640
1Q	1.13	73	93.9	0.82	0.9
6A	156.8	67	125.1	2.75	0.640
1A	3.36	63	149.2	0.70	0.85
8A	153.4	67	125.1	2.72	0.640
1R	2.09	64	142.9	0.70	0.87
10A	149.4	67	125.1	2.68	0.640
1S	2.49	62	155.7	0.70	0.86
12A	145.8	67	125.1	2.64	0.640
1N	2.20	62	155.7	0.65	0.86
14A	143.3	67	125.1	2.62	0.640
1T	5.75	67	125.1	0.82	0.84
16A	136.7	67	125.1	2.57	0.645
1M	2.21	60	169.3	0.67	0.89
18A	133.2	67	125.1	2.53	0.645
1U	1.33	63	149.2	0.65	0.91
20A	131.8	67	125.1	2.51	0.645
1L	1.96	59	176.5	0.67	0.9
22A	128.8	67	125.1	2.49	0.645
1V	9.17	68	119.5	0.90	0.8
3V	5.93	67	125.1	0.83	0.83
24A	119.6	67	125.1	2.41	0.660
1K	1.95	56	199.6	0.58	0.89
26A	116.5	67	125.1	2.39	0.670
1W	29.97	69	114.1	1.22	0.76
2W	25.32	69	114.1	1.20	0.77
3W	7.19	68	119.5	0.91	0.82
5W	13.41	70	108.9	1.00	0.82
6W	3.25	63	149.2	0.66	0.86
9W	4.83	67	125.1	0.74	0.82
10W	4.69	69	114.1	0.73	0.84
28A	85.9	68	119.5	2.02	0.690
1J	1.05	55	207.8	0.55	0.92
30A	81.6	68	119.5	1.98	0.690
1X	3.67	61	162.4	0.65	0.84
32A	77.6	68	119.5	1.93	0.700
1I	1.54	60	169.3	0.61	0.9
34A	74.5	68	119.5	1.88	0.700
1Y	5.28	60	169.3	0.90	0.81
36A	69.1	69	114.1	1.83	0.710
1H	4.06	61	162.4	0.70	0.87
38A	60.0	69	114.1	1.65	0.730
1G	1.60	63	149.2	0.61	0.88
40A	58.2	69	114.1	1.62	0.730
1Z	21.23	65	136.8	1.16	0.76
3Z	18.43	64	142.9	0.96	0.79
5Z	5.05	69	114.1	0.71	0.82
7Z	2.63	68	119.5	0.63	0.86
8Z	8.86	72	98.8	0.89	0.79
10Z	4.21	66	130.8	0.68	0.84
42A	34.6	72	98.8	1.30	0.750

**PARAMETRI DEL MODELLO GEOMORFOCLIMATICO PER LE
SEZIONI DI INTERESSE**

ID. ⁽¹⁾	A, Km ²	CN ⁽²⁾ , -	S, mm	t_L , h	k^2 , -
1F	0.87	65	136.8	0.55	0.9
44A	32.6	72	98.8	1.27	0.760
1E	7.16	69	114.1	0.69	0.8
2E	4.27	67	125.1	0.69	0.83
46A	25.4	72	98.8	1.02	0.760
1AA	7.31	68	119.5	0.80	0.8
2AA	4.61	69	114.1	0.71	0.82
48A	17.1	73	93.9	0.84	0.780
1D	4.43	70	108.9	0.73	0.82
50A	11.6	72	98.8	0.77	0.800
1C	1.83	72	98.8	0.68	0.88
52A	9.2	71	103.7	0.73	0.820
1B	2.03	72	98.8	0.71	0.89
54A	3.1	62	155.7	0.65	0.890

Note:

(1) In corsivo i valori riferiti all'asta principale.

(2) I valori di CN e S qui riportati rappresentano, come dettagliato in Appendice A, il valore mediato sull'area sottesa dalla sezione.

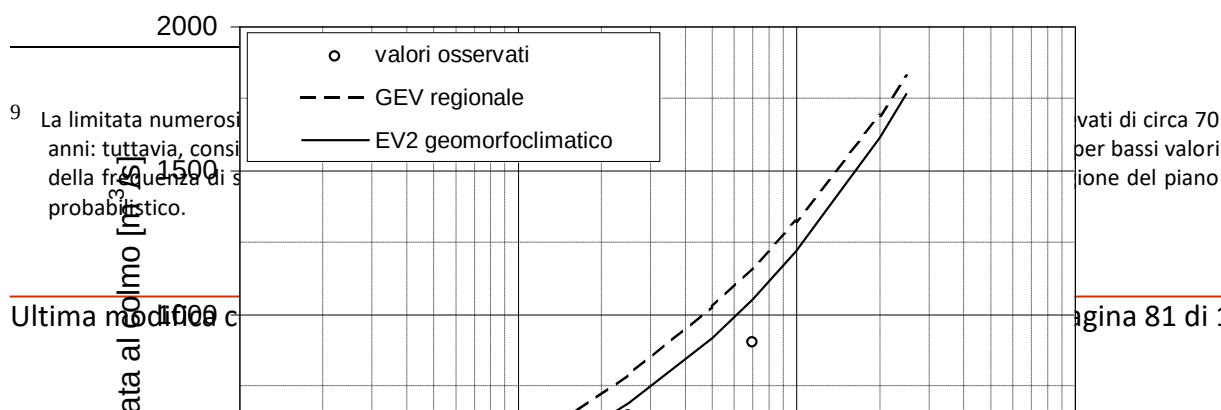
sono presentati i parametri assunti per ogni sottobacino, individuato dalla sua sezione di chiusura.

Infine, per omogeneità con la scelta del metodo CN, si è fatto uso della procedura proposta dal SCS anche per la determinazione del tempo di ritardo del bacino. Secondo tale procedura, il tempo di lag, t_L è legato al tempo di corrivazione, t_c , secondo le equazioni riportate in Appendice B "Valutazione del rischio idrologico".

Portate di Piena ad Assegnato Periodo di Ritorno

Utilizzando le equazioni (23) e (24) sono state quindi calcolate, per ognuna delle sezioni ritenute di interesse, le statistiche delle portate al colmo di piena, μ_{Q_p} e $\sigma_{Q_p}^2$, necessarie alla stima dei parametri della curva di crescita delle portate al colmo espressa, nell'ipotesi del modello geomorfoclimatico, secondo una distribuzione EV2. Per mezzo di quest'ultima sono quindi state calcolate le portate di piena per assegnati periodi di ritorno, come più oltre riferito.

La validazione delle stime fornite dal modello probabilistico geomorfoclimatico EV2 è stata condotta, come più sopra rilevato, confrontando i valori calcolati mediante tale modello con i valori osservati storicamente nella sezione di San Martino. Tale confronto, riportato in nella seguente figura, indica un buon accordo tra valori osservati e valori calcolati, con una tendenza alla sottostima per bassi periodi di ritorno (2÷5 anni), e una pari tendenza alla sovrastima per valori più alti del periodo di ritorno (> 50 anni)⁹: nel campo intermedio la curva di crescita del modello geomorfoclimatico riproduce in maniera significativamente corretta i valori osservati.



Le buone prestazioni del modello proposto trovano conferma anche nel confronto con la curva di crescita regionale, di tipo GEV¹⁰:

$$Q_T = Q_i \left[\varepsilon + \frac{\alpha}{k} (1 - e^{-ky}) \right] \quad (35)$$

in cui Q_i è la portata indice (Appendice B "Valutazione del rischio idrologico") $y = -\ln[-\ln(F)]$ è la variabile ridotta di Gumbel e i parametri ε , α e k risultano dalla regionalizzazione delle piene nella Liguria tirrenica rispettivamente¹¹ pari a $\varepsilon=0.619$, $\alpha=0.369$, $k=-0.319$. La curva regionale GEV riportata nella figura precedente, ottenuta utilizzando quale portata indice la media dei massimi annuali delle portate al colmo osservate, mostra infatti un andamento assai simile a quello del modello EV2 geomorfoclimatico, risultando in generale di poco riscalata verso valori più elevati a parità di frequenza. In particolare, la curva regionale tende ad una maggiore sovrastima nell'intervallo di frequenze corrispondenti a periodi di ritorno compresi tra 20 e 100 anni, ma fornisce stime di inferiori per periodi di ritorno superiori a 100 anni. Nell'intervallo di interesse tecnico, considerando il valore bicentennale come limite superiore per una stima robusta, i valori calcolati secondo i due modelli non differiscono mai per più del 10%, come indicato in Tabella;

**CONFRONTO DEI VALORI DI PORTATA AL COLMO CALCOLATI CON
 IL MODELLO EV2 E GEV REGIONALE NELLA SEZIONE DI SAN MARTINO**

FREQUENZA ⁽¹⁾	VALORI	GEV REGIONALE	EV2	Q_{oss}/Q_{EV2}	Q_{GEV}/Q_{EV2}
--------------------------	--------	---------------	-----	-------------------	-------------------

¹⁰ L'espressione della GEV è:

$$F_Q(q) = \exp \left[1 - \frac{k}{\alpha Q_{indice}} (q - \varepsilon Q_{indice})^{-1/k} \right],$$

da cui è immediato ricavare l'espressione della portata R-ennale che risulta scritta

$$Q_T = Q_{indice} \left[\varepsilon + \frac{\alpha}{k} (1 - e^{-ky}) \right]$$

(campionaria o assegnata)	OSSERVATI	GEOMORFOCLIMATICO			
0.5 (2)	264	224	218	-17.4%	-2.7%
0.807 (5.18)	452	399	351	-22.3%	-12.0%
0.9 (10)	-	541	469	-	-13.3%
0.909 (10.99)	511	563	488	-4.5%	-13.3%
0.98 (50)	-	1026	916	-	-10.7%
0.986 (69.86)	900	1160	1051	16.8%	-9.4%
0.99 (100)	-	1321	1217	-	-7.9%
0.995 (200)	-	1689	1614	-	-4.4%

Nota:

(1) Tra parentesi è indicato il periodo di ritorno espresso in anni.

per valori del periodo di ritorno inferiori a 50 anni, mentre registrano differenze nell'ordine di qualche per cento per le stime centennali e bicentennali. È appena il caso di sottolineare come tali differenze siano del tutto confrontabili sia con gli errori di misura che caratterizzano i valori di portata al colmo osservati, sia con le incertezze che caratterizzano gli schemi di calcolo idraulico per la determinazione dei livelli di moto corrispondenti ad una data portata di piena.

Ritenendo dunque sufficientemente affidabile e robusta la stima ottenuta mediante il modello geomorfoclimatico EV2, sono state calcolate le portate al colmo di piena per periodi di ritorno preassegnati, rispettivamente pari a 10, 100 e 200 anni. In Tabella:

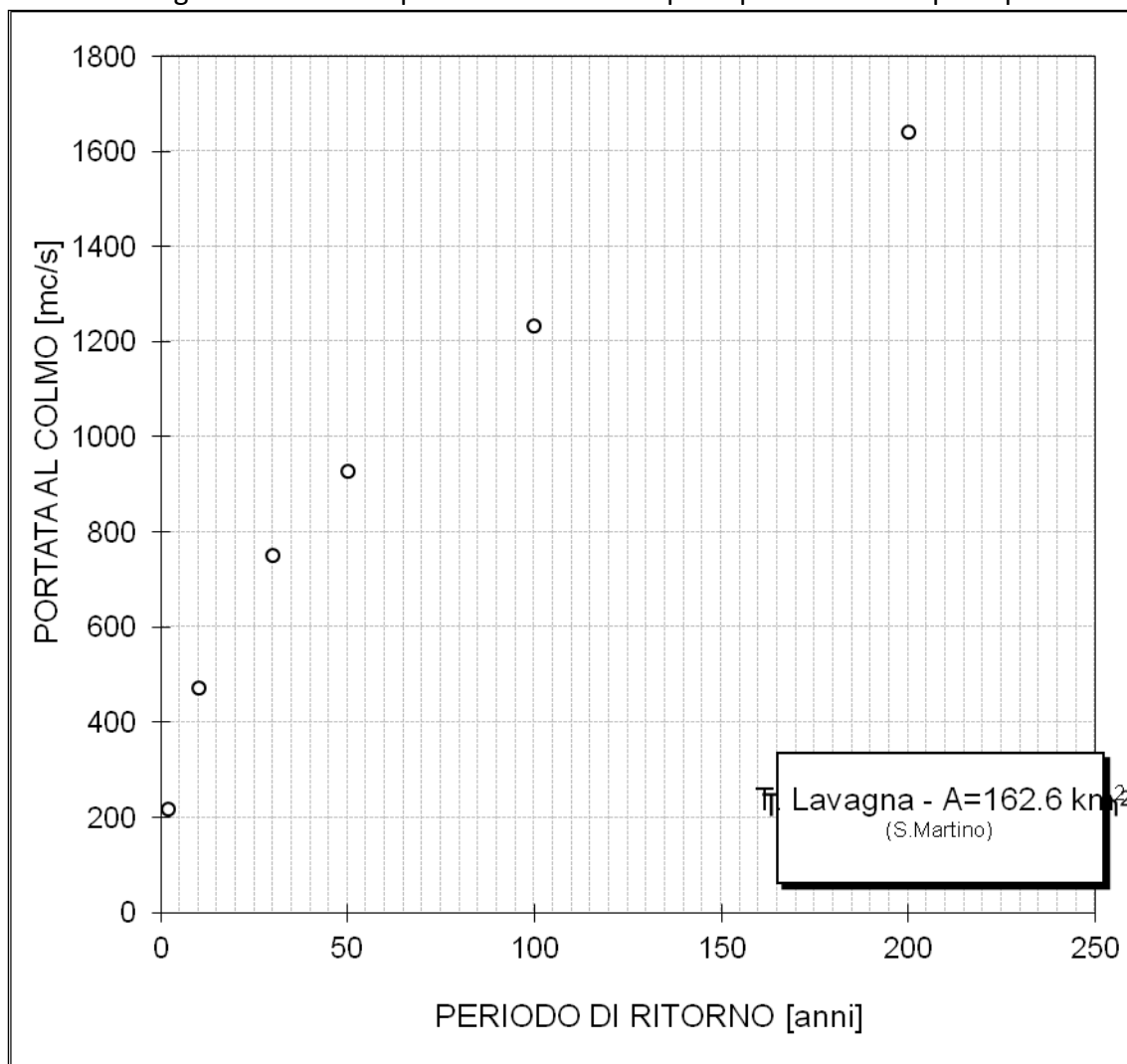
VALORI DELLA PORTATA (m ³ /s) AL COLMO PER LE SEZIONI CONSIDERATE						
ID.	AREA, km ²	Q ₁₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀	Q ₅₀₀	Q _{inviluppo}
1A	162.6	469	1217	1614	2360	1806
2A	161.5	466	1209	1604	2328	1799
1P	1.00	11	29	39	57	-
4A	159.7	461	1196	1587	2304	1764
1Q	1.13	11	30	40	58	-
6A	156.8	456	1184	1571	2281	1738
1A	3.36	28	75	100	145	-
8A	153.4	450	1168	1550	2250	1707
1R	2.09	18	49	65	94	-
10A	149.4	443	1151	1526	2215	1671
1S	2.49	20	55	73	106	-
12A	145.8	438	1136	1507	2188	1638
1N	2.20	19	51	68	99	-
14A	143.3	433	1124	1491	2164	1616
1T	5.75	48	126	169	245	-
16A	136.7	421	1095	1452	2108	1556
1M	2.21	18	49	66	96	-
18A	133.2	417	1082	1435	2083	1524
1U	1.33	12	33	44	64	-
20A	131.8	414	1075	1427	2072	1511
1L	1.96	16	43	57	83	-
22A	128.8	407	1058	1403	2037	1484
1V	9.17	71	187	249	361	-
3V	5.93	48	128	171	248	-
24A	119.6	394	1025	1360	1974	1399
1K	1.95	16	42	57	83	-

VALORI DELLA PORTATA (m ³ /s) AL COLMO PER LE SEZIONI CONSIDERATE						
ID.	AREA, km ²	Q ₁₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀	Q ₅₀₀	Q _{involuppo}
26A	116.5	390	1014	1345	1953	1371
1W	30.0	188	492	654	949	520
2W	25.32	162	425	564	819	467
3W	7.19	56	148	198	287	-
5W	13.41	104	273	363	527	321
6W	3.25	28	76	102	148	-
9W	4.83	42	111	148	215	-
10W	4.69	44	116	155	225	-
28A	85.9	344	893	1185	1720	1085
1J	1.05	9	24	32	46	-
30A	81.6	331	862	1143	1659	1044
1X	3.67	30	80	108	157	-
32A	77.6	324	843	1119	1624	1005
1I	1.54	13	37	49	71	-
34A	74.5	317	825	1095	1590	975
1Y	5.28	33	88	118	171	-
36A	69.1	312	810	1074	1559	922
1H	4.06	32	87	117	170	-
38A	60.0	297	774	1027	1491	833
1G	1.60	15	40	54	78	-
40A	58.2	292	761	1010	1466	815
1Z	21.2	124	326	434	630	419
3Z	18.43	122	322	430	624	385
5Z	5.05	47	125	167	242	-
7Z	2.63	27	71	96	139	-
8Z	8.86	76	198	263	382	-
10Z	4.21	38	102	136	197	-
42A	34.6	224	580	769	1116	571
1F	0.87	9	25	34	49	-
44A	32.6	216	561	744	1080	549
1E	7.16	67	177	236	343	-
2E	4.27	39	104	139	202	-
46A	25.4	194	505	670	973	468
1AA	7.31	61	160	214	311	-
2AA	4.61	43	114	152	221	-
48A	17.1	154	402	533	774	369
1D	4.43	42	110	147	213	-
50A	11.6	110	288	384	557	297
1C	1.83	20	53	70	102	-
52A	9.2	89	233	311	451	-
1B	2.03	22	58	77	122	-
54A	3.1	27	74	99	144	-

sono riportati i valori ottenuti per ogni sezione di interesse e il valore calcolato mediante la curva inviluppo. Vale la pena di osservare in proposito come l'impossibilità di assegnare alla curva inviluppo, per come essa è derivata, un significato statistico emerga in modo chiaro dall'analisi condotta con il modello geomorfoclimatico. Dalla Tabella seguente è infatti immediato notare come la curva inviluppo, per un assegnato periodo di ritorno, tenda ora a sovrastimare il valore delle portate di piena, ora a sottostimarla, a seconda della porzione di bacino sottesa dalla sezione e senza una apparente regolarità.

Infine, come riportato nel dettaglio in Appendice C "Curve di crescita della portata al colmo

per sezioni salienti" ed a titolo di esempio nella figura seguente per una sezione di interesse, è stata determinata la curva di crescita della portata al colmo per ogni sezione di interesse, allo scopo di fornire uno strumento operativo di rapida applicazione per la valutazione del rischio idrologico nelle sezioni più critiche dell'asta principale e dei suoi principali affluenti.



Il valore della portata cinquecentennale nella sezione di chiusura 1A è stato tratto dal Piano di Bacino stralcio T. Sturla – Fiume Entella (Ambito regionale di bacino 16). Tale valore è stato determinato mediante l'applicazione del metodo geomorfoclimatico.

I valori delle portate cinquecentennali, nelle altre sezioni di chiusura, sono state ricavate ipotizzando la linearità dell'andamento delle curve di crescita delle portate al colmo lungo l'asta.

3 PROBLEMATICHE E CRITICITÀ DEL BACINO

3.1 Premessa

Esistono situazioni naturali particolari che limitano fortemente o addirittura inficiano la possibilità di un utilizzo potenziale delle parti di territorio ove esse si manifestano; in generale si tratta di fenomeni legati alla instabilità attiva o potenziale dei versanti, situazioni di disequilibrio vegetazionale, presenza di emergenze naturalistiche significative (fitocenosi di elevato livello qualitativo) ed incidenza di fenomeni meteorologici rilevanti.

Il particolare regime climatico presente nella zona, comune a buona parte del versante marittimo della provincia, che ha assunto negli ultimi anni caratteristiche progressivamente peggiori con piogge particolarmente intense e concentrate, comporta la necessità di tutelare l'integrità e la qualità dell'alveo dei corsi d'acqua onde consentire lo smaltimento della massima piena.

Laddove questi fenomeni hanno prodotto in passato inondazioni o allagamenti, queste porzioni di territorio devono essere assoggettate, sino a che non siano effettuati interventi di riqualificazione idraulica, a specifiche normative tese ad indicare condizioni di salvaguardia per la definizione di politiche di gestione più compatibili ed integrate rispetto alla situazione complessiva del bacino.

3.2 Problematiche di tipo geomorfologico (Suscettività al dissesto dei versanti)

Da un'analisi degli elementi geomorfologici e relativi alla franosità reale si possono trarre alcune considerazioni a livello generale e puntuale sullo stato di stabilità dei versanti del bacino del T. Lavagna e quindi sulle diverse criticità presenti nel bacino.

Per quanto riguarda i piccoli dissesti a carattere puntuale osservati (le dimensioni medie variano da una a poche decine di metri di larghezza ed altrettanto in lunghezza), attivi o stabilizzati, si nota come questi coinvolgono in massima parte la viabilità secondaria della vallata, alla quale sono strettamente collegati. Si osserva come questi dissesti, di dimensioni modeste sono spesso accompagnati da insufficienti o mancanti opere di drenaggio e di sostegno delle parti a monte e a valle della sede viaria, insieme alla pendenza generalmente elevata, muta le condizioni di naturale equilibrio del versante. Questi fattori, in presenza di un substrato particolarmente fratturato o erodibile (coltri detritiche e scisti argillosi), possono innescare, specie in coincidenza di forti piogge, fenomeni di franamento.

Va inoltre evidenziato che la viabilità secondaria è spesso rappresentata da strade in passato sterrate trasformate in strade asfaltate senza gli adeguati criteri costruttivi e interessate da un crescente traffico veicolare, talvolta pesante. Questo è particolarmente evidente nelle strade di accesso, spesso private, ai siti di cava per l'estrazione dell'ardesia. Questi movimenti franosi, identificabili come smottamenti, scorrimenti rotazionali o planari o piccoli crolli, sono infatti molto spesso favoriti dallo stesso taglio stradale del versante.

La scarsa cura delle strade secondarie e delle opere idrauliche connesse, quali canalette, tombinature e drenaggi, che se non efficienti non consentono una corretta regimazione delle acque superficiali e di falda, possono talvolta contribuire all'innescare dei fenomeni franosi.

A titolo di esempio, si possono citare le due frane di scoscendimento che hanno trascinato a

valle tratti della strada per Dezerega, la frana di scoscendimento in località Cornia di Moconesi che ha invaso la strada ed interessato un'abitazione e le due frane in località Motta, lungo la strada per Scagnelli, nel Comune di Lumarzo, ora artificialmente stabilizzate. Altri dissesti a carattere puntuale sono causati dall'erosione spondale dei maggiori corsi d'acqua che, anche in questo caso, possono interessare le strade del fondovalle o aree edificate poste nelle immediate vicinanze degli orli dei terrazzi fluviali.

Altri fenomeni d'instabilità in atto sono stati rilevati all'interno dei corpi di alcune paleofrane. Nell'area del bacino si trovano un gran numero di aree detritiche riferibili a corpi di paleofrana. Questi accumuli possono considerarsi in massima parte ormai completamente stabilizzati e solo in particolari condizioni l'intero corpo di frana, o una porzione di esso, può essere considerato suscettibile di potenziale riattivazione.

Rientrano in questa fenomenologia ad esempio le paleofrane di grandi dimensioni di Vallebuona, Lezzaruole e Garbarini dove sono stati rilevati indicatori morfologici e alcune lesioni che hanno interessato manufatti, oltre che dissesti lungo la strada comunale, a dimostrazione della potenziale riattivazione del corpo di paleofrana.

Un altro caso critico è quello in località Ognio dove è presente una DGPV (deformazione gravitativa profonda di versante). In questa zona varie porzioni del versante presentano segni di instabilità più o meno marcata dando luogo a fenomeni gravitativi attivi e quiescenti con diverse tipologie di movimento

Altro elemento di criticità del territorio legato al fenomeno della franosità è dato dai processi di lenta movimentazione delle coltri detritiche dei versanti o creep. Tale fenomeno è stato rilevato in località Forca, dove il dissesto ha coinvolto una abitazione causando varie lesioni, in località Fiorina e in località Orticeto dove il movimento della coltre ha in parte lesionato la sede stradale.

Lungo i versanti, in particolare nei settori più elevati in prossimità degli spartiacque, i fenomeni erosivi assumono talvolta caratteri di marcata intensità provocando una intensa azione di asportazione del suolo e della coltre detritica superficiale. Questo aspetto può assumere carattere di criticità allorquando si prevede la costruzione di manufatti e opere stradali che necessiteranno con ciò di adeguate opere di protezione dei pendii.

Le aree maggiormente interessate da fenomeni di questo tipo, quali l'erosione incanalata di fondo o ruscellamento superficiale, possono essere identificate alla testata valliva del Torrente Sestri, affluente del Neirone; alle pendici sud del M. Caucaso; alla testata delle valli del Rio Ferriere e del Rio di Vallebuona ed alla testata della valle del Fosso d'Arena, affluente del Torrente Malvaro.

In oltre si vuole mettere in evidenza come il progressivo abbandono delle pratiche agricole sui versanti del bacino, anche a quote considerevoli, ha comportato un degrado di tutte quelle aree coltivate e terrazzate fino alla metà del secolo, e che ora senza più la costante cura da parte della popolazione locale sono particolarmente sottoposti ad erosione e piccoli dissesti.

Ancora, l'attività estrattiva nel settore ardesiaco, se minimizza i problemi di stabilità dei versanti ed impatto ambientale grazie alle coltivazioni in sotterraneo delle cave, ne crea di specifici in seguito alla produzione ed accumulo in discarica dei residui di materiale ardesiaco dovuti ai processi di estrazione e di lavorazione. Queste discariche, ottenute dall'accumulo del materiale sul versante secondo il suo angolo di naturale riposo, specie se prive di opere di contenimento al loro piede e se assoggettate a forti pendenze senza una corretta riprofilatura, possono costituire accumuli potenzialmente instabili. Inoltre, se non

opportunamente rivegetate a fine utilizzo costituiscono, in certi casi, un elemento di pesante impatto ambientale. Da un punto di vista idrogeologico le discariche di ardesia sono da considerarsi permeabili. La grande eterogeneità dei blocchi che le costituiscono sommata alla loro forma spigolosa, crea un elevato volume di vuoti che permette un deflusso ottimale dell'acqua al loro interno. Da un punto di vista della stabilità questi accumuli sopportano angoli di naturale declivio decisamente forti (anche 100 %), la loro stabilità è dovuta alla elevata permeabilità che dipende dalla particolare granulometria, compresa tra la ghiaia e blocchi pluridecimetrici, che riduce a valori minimi le pressioni interstiziali.

3.2.1 Metodologia applicata

Nell'ambito della revisione del presente Piano si è proceduto ad un aggiornamento che ha comportato modifiche sostanziali alle carte di analisi, in particolare a quelle geomorfologiche; in conseguenza di ciò, vista la difficoltà oggettiva di aggiornare la carta derivata della suscettività al dissesto, si è deciso di "rigenerarla" completamente ottemperando così alle seguenti esigenze:

- aggiornare il tematismo "suscettività" alle carte di base modificate;
- uniformare i criteri di calcolo della suscettività tra un bacino idrografico e l'altro, in quanto in una prima fase erano stati usati criteri differenti;
- adeguare detti criteri alle raccomandazioni e alle indicazioni di Regione Liguria.

I documenti che sono stati presi come riferimento per la strutturazione della procedura di generazione della carta sono i seguenti:

- *Linea guida relativa alle "indicazioni metodologiche per la redazione della carta della suscettività al dissesto dei versanti" (redatta da Regione Liguria);*
- *Piano pilota ex-D.L. 180/98 del torrente Sturla (realizzato da Regione Liguria);*
- *Piani di bacino stralcio per il rischio (Ambiti ex D.L. 180/98 e s.m.i.) aggiornati in seguito al recepimento dei pareri vincolanti espressi da Regione Liguria*

Dall'insieme di queste indicazioni è nata una procedura informatica in ambiente GIS che, tramite l'assegnazione di "pesi" ad ogni elemento giudicato "influyente" ai fini del calcolo della suscettività, porta alla "somma algebrica" di tali pesi e alla realizzazione di una "gradazione di suscettività" che copre l'intero territorio analizzato; tramite la definizione di range si ricava la Carta della suscettività al dissesto alla quale vanno sovrimposte alcune categorie tra le quali le frane "quiescenti" e quelle "attive" rispettivamente nelle classi "alta" e "molto alta"; i pesi utilizzati non sono stati ricalcolati sul presente bacino idrografico ma sono stati presi direttamente dalla procedura già collaudata sui Piani di bacino stralcio per il rischio (Ambiti ex D.L. 180/98 e s.m.i.); questa scelta è dovuta sostanzialmente a due motivazioni:

- *i pesi precedentemente calcolati erano riferiti all'intera superficie dei cinque ambiti regionali (12/13, 14, 15, 16 e 17) e pertanto già sufficientemente rappresentativi dell'intero territorio provinciale per il versante tirrenico;*
- *mantenendo gli stessi pesi, range di riferimento e classi sovrainposte, si è ottenuto un livello informativo omogeneo e confrontabile.*

La procedura informatizzata si basa sui dati di base georiferiti e strutturati su file Microstation J mediante l'utilizzo del software GIS Intergraph Mge e del database Microsoft

Access '97 seguendo le raccomandazioni emanate da Regione Liguria; rispetto a dette raccomandazioni si sono rese necessarie alcune variazioni.

La procedura utilizzata ha diversi pregi e alcuni innegabili limiti che brevemente si elencano:

pregi:

- ☺ *Risulta la procedura più "oggettiva" tra quelle sino ad ora utilizzate;*
- ☺ *Consente di uniformare i calcoli svincolandosi dalle considerazioni soggettive e quindi non omogenee dei rilevatori;*
- ☺ *Consente di collegare direttamente il dato di sintesi "suscettività" con i dati di analisi ed è quindi facilmente rigenerabile in caso di aggiornamento.*

limiti:

- ☹ *Tiene conto di pochi parametri rispetto ai molteplici fattori che influiscono sulla suscettività al dissesto;*
- ☹ *I fattori di cui si tiene conto sono riferibili alla "scala di bacino"; non sono considerati pertanto i fattori locali, come ad esempio opere antropiche di taglio dei versanti, opere di regimazione delle acque, ecc.*
- ☹ *Essendo una procedura automatizzata opera una "generalizzazione" piuttosto spinta e non consente di trattare i casi singolarmente;*
- ☹ *essendo una procedura che analizza contemporaneamente l'intero territorio in questione rende complessa qualsiasi verifica sul territorio che non sia a campione.*

Assegnazione dei pesi

Per i criteri utilizzati per l'assegnazione dei pesi si riporta per completezza la procedura utilizzata nella redazione dei già citati "Piani per il rischio".

Formazioni litologiche

I pesi relativi all'influenza delle differenti tipologie litologiche sono stati calcolati mediante la formula proposta da Regione Liguria che mette in relazione la superficie di affioramento con la totalità della superficie in frana sull'affioramento medesimo.

$$\psi = (1 / K) \times \varphi$$

dove:

$$K = \Sigma A''n / A_T$$

$$\varphi = A''n / A'n$$

$A'n$ = Aree parziali di primo ordine: area totale di presenza della litologia n [km²]

$A''n$ = Aree parziali di secondo ordine: aree interessate da movimenti franosi in atto o recenti all'interno delle $A'n$. [km²]

A_T = Area totale del bacino [km²]

Si precisa che per rendere più significativi i calcoli sulle superfici sono stati "ipotizzati" i limiti litologici anche al di sotto delle coltri potenti (con spessore maggiore di metri 3), dato non presente nel livello informativo della carta geolitologica; questo espediente si è reso necessario per non trascurare l'incidenza di tutti quei fenomeni geomorfologici coltri potenti.

I pesi ottenuti mediante la formula di cui sopra sono stati "normalizzati" per ogni Ambito di

Bacino di Rilievo Regionale della provincia di Genova e successivamente mediati tra tutti i 5 Ambiti.

Il risultato finale è stato successivamente modificato su tre pesi.

I pesi finali utilizzati nella procedura sono riportati in Tabella 1.

LITOLOGIA (GXX_DLT.DGN)	sigla	peso
Argilliti	ag	10
Argilloscisti	as	6
Calcari	c	5
Calcari marnosi	cm	4
Marne	ma	3
Arenarie	ar	1
Calcari arenacei	car	0
COPERTURE DETRITICHE (GXX_DLT.DGN)		
Coltri detritiche potenti (sup. 3 mt)	dt dt1 dt2	10
Depositi alluvionali terrazzati rec.	ar	5
Depositi alluvionali terrazzati ant.	aa	3
Depositi alluvionali mobili attuali	am	0
Grossi riporti	gr	10

Tabella 1

Acclività dei versanti

Per il calcolo della suscettività è stata utilizzata la Carta dell'Acclività Regionale in scala 1:10.000 derivata dal modello digitale del terreno generato nell'ambito del progetto IT2000. I pesi assegnati ad ogni classe sono quelli già utilizzati per il torrente Polcevera e sono riportati in Tabella 2.

CLASSE DI ACCLIVITÀ (gXX_acl.dgn)	sigla	peso
Classe 1 (0 - 10 %)	1	0
Classe 2 (10 - 20 %)	2	0
Classe 3 (20 - 35 %)	3	3
Classe 4 (35 - 50 %)	4	4
Classe 5 (50 - 75 %)	5	10
Classe 6 (75 - 100 %)	6	12
Classe 7 (>100 %)	7	13

Tabella 2

Uso del suolo

E' stato utilizzato un peggiorativo per la classe "ex-coltivi"; sono stati inoltre inseriti i pesi per i diversi indici di efficienza idrogeologica, lasciando a zero il peso dell'alta efficienza e attribuendo un peggiorativo alle altre due classi (Tabella 3).

CLASSE DI USO DEL SUOLO (gXX_uso.dgn)	sigla	peso
Ex coltivi	2.5	3
INDICE DI EFF. IDROGEOLOGICA (gXX_uso.dgn)		
Efficienza idrogeologica alta	1	0
Efficienza idrogeologica media	2	1
Efficienza idrogeologica bassa	3	2

Tabella 3

Geomorfologia

Oltre allo stato della roccia e alle coltri "sottili" sono state prese in considerazione, ove presenti, le ex-cave, le ex-discardiche e le aree caratterizzate da ruscellamento diffuso areale e da erosione diffusa areale (Tabella 4).

STATO DELLA ROCCIA (GXX_MOR.DGN)	sigla	peso
Roccia in buone cond. fav. al pendio	R	0
Roccia in buone cond. sfav. al pendio	RS	2
Roccia in scadenti condizioni	RF	5
Roccia non rilevabili	RO	5
COLTRI SOTTILI (inferiore a 3 m) (GXX_MOR.DGN)		
Granulometria indifferenziata	c	6
Granulometria grossolana	cg	6
Granulometria fine	cf	7
AREE SPECIALI		
Ex cave		3
Ex discardiche		3
FENOMENI EROSIVI (GXX_MRF.DGN)		
Ruscellamento diffuso	rusc	5
Erosione diffusa	eros	5

Tabella 4

Buffer

Sono stati creati dei buffer per tutti quegli elementi lineari e puntuali che possono incidere sulla suscettività al dissesto; l'ampiezza dell'area è stata fissata in base ai possibili effetti

morfológicos causati dagli stessi elementi, tenendo conto anche della scala alla quale il calcolo restituisce i risultati. Per tutti gli elementi lineari si è usato un buffer simmetrico, cioè si è costruita un'area di uguale ampiezza da una parte e dall'altra dell'elemento, ad eccezione dell'erosione spondale il cui buffer è calcolato sul solo lato esterno. Per gli elementi puntuali il buffer è rappresentato da un cerchio (Tabella 5).

TIPOLOGIA DI BUFFER	buffer	peso
Limite formazionale (gXX_dlt.dgn)	25+25	1
Faglia (gXX_str.dgn)	25+25	2
Erosione concentrata di fondo (gXX_mrf.dgn)	25+25	7
Erosione spondale (gXX_mrf.dgn)	0+25	7
Orlo di terrazzo (gXX_mrf.dgn)	15+15	3
Rottura di pendio (gXX_mrf.dgn)	15+15	3
Frana puntuale attiva (gXX_fra.dgn)	r. 25	25
Frana puntuale quiescente (gXX_fra.dgn)	r. 25	20
Conoide detritica puntuale (gXX_fra.dgn)	r. 25	10
Ciglio di frana attivo (gXX_fra.dgn)	25+25	10
Ciglio di frana quiescente (gXX_fra.dgn)	25+25	2

Tabella 5

Classi di suscettività al dissesto

La sommatoria dei pesi applicati alle singole classi è stata suddivisa in range per la definizione delle classi di suscettività al dissesto, come da Tabella 6.

CLASSE DI SUSCETTIVITÀ AL DISSESTO	sigla	range
Molto bassa	Pg0	$Pg0 < 7$
Bassa	Pg1	$7 \leq Pg1 < 14$
Media	Pg2	$14 \leq Pg2 < 20$
Elevata	Pg3b	$Pg3b \geq 20$

Tabella 6

Classi sovrainposte

In ottemperanza alle raccomandazioni della Regione Liguria ed in conformità con la Normativa del Piano, in considerazione del fatto che la Carta della suscettività al dissesto ha anche ricadute normative, sono state sovrainposte le classi elencate in Tabella 7.

Si precisa che alla classe "cave attive, miniere attive e discariche in esercizio" non è stata attribuita alcuna classe di suscettività in quanto dette aree sono normate da specifici Piani di Settore e dalla normativa di Piano stesso; per quanto riguarda le altre aree speciali (ex cave,

ecc.), la classe sovrainposta è stata resa “trasparente” per lasciare visibile anche la suscettività calcolata.

CLASSE SOVRAIMPOSTA	Classe di suscettività	sigla
Frana attiva	Molto elevata	Pg4
Frana quiescente	elevata	Pg3a
Frana relitta o stabilizzata	elevata	Pg3b
DGPV	elevata	Pg3b
Area a franosità diffusa attiva	elevata	Pg3a
Area a franosità diffusa quiescente	elevata	Pg3b
Frana superficiale – soil slip quiescente	elevata	Pg3b
Cave attive, miniere attive e discariche in esercizio	Area speciale	Tipo A
Ex cave, ex miniere	Area speciale	Tipo B1
ex discariche e riporti antropici	Area speciale	Tipo B2

Tabella 7

Distribuzione della suscettività al dissesto all'Interno del bacino

Dall'analisi d'insieme della Carta della suscettività al dissesto, buona parte del bacino è suscettibile al dissesto in maniera media od elevata. Le ragioni principali dell'elevata distribuzione d'aree “a rischio” sono da ricercarsi principalmente nelle peculiari caratteristiche morfotettoniche e geomorfologiche della vallata.

Ampie aree a suscettività elevata e media sono state individuate nei settori orograficamente più elevati del bacino, in particolare lungo i versanti in prossimità dei tratti di spartiacque a Nord-Ovest (a sud di Monte Croce di Bragaglia, Serri, Costa dei Tane, Ria Rondanaia, Monte Lavagnola) e a Nord-Est (Passo della Scogliana, Poggio Grosso, Bricco dell'Arietta, Monte Pagliaro). Su queste porzioni di versante, infatti, si sommano spesso, oltre alle aree in dissesto, acclività elevate a forme d'erosione, diffusa o concentrata, o rotture di pendio.

La classe molto alta è costituita essenzialmente dalle zone ricadenti in frana attiva.

In tutto il bacino si riscontra una presenza diffusa di porzioni di versante cui è stata assegnata una media - alta suscettività, in particolare nei settori Ovest Nord-Ovest e Sud-Est del bacino, dove le zone con bassa efficienza biologica od idrogeologica sono numerose e di una certa estensione.

Lungo il fondovalle principale, a partire da località Donega, si riscontra con una certa continuità una fascia, localmente anche di notevole larghezza, a suscettività bassa – molto bassa, occupante in genere aree sub-pianeggianti, dovuta alla presenza di aree agricole non utilizzate in evoluzione naturale.

Altre zone a bassa suscettività occupano la porzione mediana dei versanti in sponda destra e sponda sinistra del torrente lavagna nella parte centro – meridionale del bacino, ed in prossimità del santuario N. S. del Bosco.

3.2.2 Sintesi delle criticità geomorfologiche

Da un'analisi degli elementi geomorfologici, relativi alla franosità reale, si possono trarre alcune considerazioni a livello generale e puntuale sullo stato di stabilità dei versanti del bacino del T. Lavagna e quindi sulle diverse criticità presenti nel bacino.

Dissesti a carattere puntuale sono causati dall'erosione spondale dei maggiori corsi d'acqua, che possono interessare le strade del fondovalle od aree edificate poste nelle immediate vicinanze degli orli dei terrazzi fluviali.

Nell'area del bacino si trova un elevato numero di aree detritiche riferibili a corpi di paleofrana. Fenomeni d'instabilità in atto sono stati rilevati all'interno dei corpi di alcune paleofrane

Un altro elemento di criticità del territorio, legato al fenomeno della franosità, è dato dai processi di lenta movimentazione delle coltri detritiche dei versanti o creep.

Lungo i versanti, in particolare nei settori più elevati in prossimità degli spartiacque, i fenomeni erosivi assumono talvolta caratteri di marcata intensità provocando un'intensa azione d'asportazione del suolo e della coltre detritica superficiale.

Si evidenzia come il progressivo abbandono delle attività agricole sui versanti del bacino, anche a quote considerevoli, ha comportato un degrado di tutte quelle aree terrazzate e coltivate fino alla metà del secolo e che ora, senza più la costante cura da parte della popolazione locale, sono particolarmente sottoposti ad erosione e piccoli dissesti.

Nella Val Fontanabuona i fenomeni relativi ai piccoli dissesti a carattere puntuale osservati, attivi o stabilizzati, coinvolgono in massima parte la viabilità secondaria della vallata, alla quale sono strettamente collegati. Si osserva come questi dissesti, di dimensioni modeste (misurano mediamente 50 metri in lunghezza) sono spesso accompagnati da insufficienti o mancanti opere di drenaggio e di sostegno delle parti a monte e a valle della sede viaria, insieme alla pendenza generalmente elevata, muta le condizioni di naturale equilibrio del versante.

Va inoltre evidenziato che la viabilità secondaria è spesso rappresentata da strade in passato sterrate trasformate in strade asfaltate senza gli adeguati criteri costruttivi e interessate da un crescente traffico veicolare, talvolta pesante. Questo è particolarmente evidente nelle strade d'accesso, spesso private, ai siti di cava per l'estrazione dell'ardesia. Questi movimenti franosi, identificabili come smottamenti, scorrimenti rotazionali o planari o piccoli crolli, sono, infatti, molto spesso favoriti dallo stesso taglio stradale del versante.

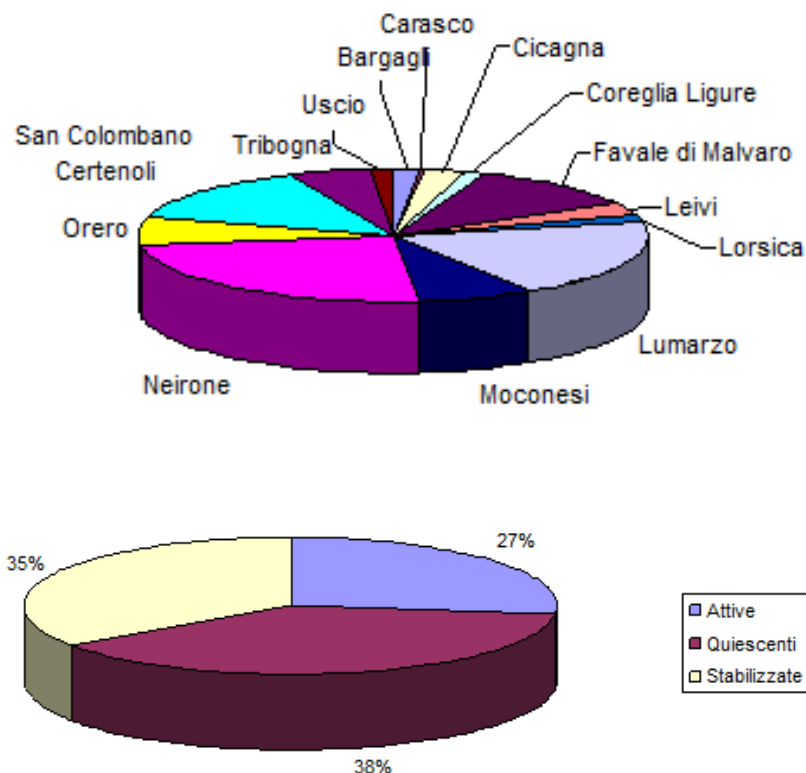
La scarsa manutenzione delle strade secondarie e delle opere idrauliche ed idrogeologiche connesse, quali canalette, tombinature e drenaggi che, se non efficienti, non consentono una corretta regimazione delle acque superficiali e di falda, possono talvolta contribuire all'insorgere dei fenomeni franosi.

La presenza di numerose discariche di inerti provenienti dall'attività di escavazione e lavorazione dei materiali ardesiaci, costituisce motivo di potenziale alterazione degli equilibri naturali e di degrado del territorio. Tra le emergenze più evidenti si può evidenziare la discarica di Trino - Monte Ballano, che presenta un'instabilità molto marcata che investe, non solo il materiale abbancato, ma anche il versante.

Dal diagramma che riporta i movimenti franosi antichi e recenti suddivisi per comune, si nota come tutte le zone della valle siano state interessate da processi di instabilità, non solo i comuni che ricadono nei settori elevati del bacino come i Comuni di Lumarzo, Neirone o Favale. Ciò è dovuto alla presenza in tutta la valle di estese coltri detritiche e della formazione della Val Lavagna, costituita da litotipi che per caratteri litologici e strutturali dà

luogo a fenomeni di instabilità sia in affioramento che al contatto con le sovrastanti formazioni calcareo-marnose del Monte Antola (margine meridionale della valle) e arenacee di Monte Zatta (margine settentrionale).

Nei diagrammi seguenti vengono evidenziati gli eventi franosi censiti nel bacino suddivisi rispettivamente per comune di appartenenza e per stato di attività.



I fenomeni franosi attivi costituiscono il 27% delle aree in frana; i fenomeni franosi stabilizzati, naturalmente o artificialmente, e le paleofrane il 35% mentre quelle quiescenti, costituiscono il 38% delle aree in frana.

Sintesi delle problematiche verificatesi durante l'evento alluvionale 2000

L'evento alluvionale degli ultimi mesi dell'anno 2000 ha agito in misura pesante sul territorio del bacino determinando di fatto una serie di episodi sostanzialmente riconducibili a fenomeni di dissesto sui versanti, localizzati secondo l'intensità degli eventi e secondo la litologia, e di intensa erosione distribuita per quasi tutta l'asta fluviale principale nel tratto di fondovalle.

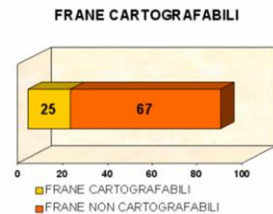
Si sono verificati anche episodi di erosione misti a dissesto di versante sulla rete idrografica minore.

Il verificarsi degli episodi indicati ha comportato la necessaria integrazione dei dati generali del piano, imponendo comunque di rappresentare in maniera sintetica gli effetti di tali fenomeni meteo intensi.

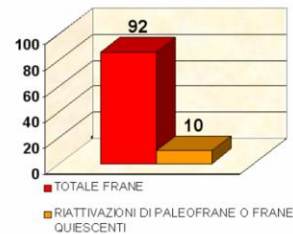
Durante l'evento alluvionale verificatosi nel novembre 2000 sono state segnalate 92 frane, attivate nel bacino del Torrente Lavagna, le cui principali caratteristiche vengono di seguito considerate.

Piano di bacino del torrente LAVAGNA
RELAZIONE GENERALE

FRANE CARTOGRAFABILI	25
FRANE NON CARTOGRAFABILI	67
RIATTIVAZIONI DI PALEOFRANE O FRANE QUIESCENTI	10



RIATTIVAZIONE DI PALEOFRANE O FRANE QUIESCENTI

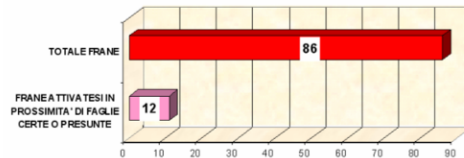


FRANE ATTIVATESI SU CONTATTI LITOLOGICI	
Formazione Val Lavagna (litotipi argillitici) - Formazione Ronco	1
Formazione Val Lavagna (litotipi argillitici) - Arenarie M. Zatta	2
Formazione Val Lavagna (litotipi argillitici) - Formazione Val Lavagna (membro ardesiaco M. Verzi)	4
FRANE ATTIVATESI IN PROSSIMITA' DI FAGLIE CERTE O PRESUNTE	12
TOTALE FRANE	86

FRANE ATTIVATESI SU CONTATTI LITOLOGICI

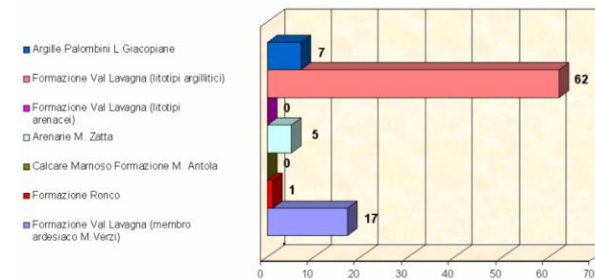


FRANE ATTIVATESI IN PROSSIMITA' DI FAGLIE



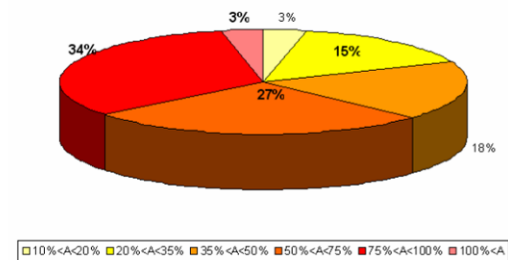
FRANE ATTIVATESI SU LITOLOGIE DIFFERENTI	
Formazione Val Lavagna (membro ardesiaco M. Verzi)	17
Formazione Ronco	1
Calcare Marnoso Formazione M. Antola	0
Arenarie M. Zatta	5
Formazione Val Lavagna (litotipi arenacei)	0
Formazione Val Lavagna (litotipi argillitici)	62
Argille Palombini L. Giacobiane	7

FRANE ATTIVATESI SUI DIFFERENTI SUBSTRATI LITOLOGICI



FRANE ATTIVATESI SU DIFFERENTI CLASSI DI ACCLIVITA'	
10% < A < 20%	3
20% < A < 35%	14
35% < A < 50%	17
50% < A < 75%	25
75% < A < 100%	30
100% < A	3

FRANE RICADENTI NELLE VARIE CLASSI DI ACCLIVITA'



Sintesi dell'evento alluvionale verificatosi nel mese di novembre 2002

Durante l'evento alluvionale verificatosi il 24 novembre 2002, le piogge intense hanno innescato sul territorio un numero rilevante di frane superficiali che hanno interessato principalmente il territorio del Comune di San Colombano Certenoli ed in particolare le località La pezza, Piano di Seriallo, Valle del Camposasco e Fregarie.

L'evento meteo-pluviometrico oltre a produrre fenomeni di frana superficiali di dimensioni modeste che hanno interessato però superfici molto vaste, ha causato sia fenomeni di piena in corrispondenza degli alvei principali sia fenomeni di scorrimento idrico superficiale violento e disordinato con conseguenti danni ed allagamenti.

Nella generalità dei casi i movimenti gravitativi avvenuti sono caratterizzati da scivolamenti di porzioni limitate di terreno che hanno coinvolto la coltre detritica superficiale e sporadicamente il substrato roccioso più alterato e sono avvenuti secondo meccanismi simili riconducibili alla concomitanza di fattori e cioè presenza di spessori perlopiù ridotti di (1,0 – 1,5 m) di terreno sciolto prevalentemente argilloso – siltoso, generalmente pedogenizzato e povero in scheletro sistemato in fasce sia coltivate sia abbandonate. Tali terreni sovrastano il substrato di argilloscisti, avente giacitura a franapoggio o traverpoggio sfavorevole rispetto al versante con angoli di inclinazione elevati in giacitura costante e ad andamento continuo. Le intense e prolungate precipitazioni e la concomitante presenza di impluvi sottesi a bacini modesti hanno completamente imbibito e saturato il terreno sciolto superficiale causandone il collasso e originando le numerose colate di fango – mud flow.

L'ulteriore concomitanza occasionale di concause sia naturali sia antropiche quali erosione spondale, infiltrazione idrica di scarichi puntuali concentrati, impermeabilizzazioni, tagli stradali, imposta di carichi, possono avere ulteriormente incentivato l'attivazione dei movimenti franosi.

La descrizione dei movimenti gravitativi avvenuti nelle località Fregarie e Valle del Camposasco è contenuta nel rapporto di sopralluogo :*"EVENTO ALLUVIONALE DEL 24 NOVEMBRE 2004 COMUNE DI SAN COLOMBANO CERTENOLI – PROVINCIA DELLA SPEZIA AREA 7 – Ufficio Piani di Bacino"*.

La descrizione e l'analisi delle criticità relative ai fenomeni gravitativi avvenuti in Area Pian dei Cunei (La Pezza) e in Area Pian di Seriallo sono contenute nella relazione geologica:*"PROGETTO DI FORMAZIONE DI UN SISTEMA DI AREA A DESTINAZIONE PRODUTTIVA NELL'AMBITO DELLA VAL FONTANABUONA DEFINITO – SISTEMA LAVAGNA – IN ATTUAZIONE DEL PTC PROVINCIALE (Comune di San Colombano Certenoli – Area Pian dei Cunei / Comune di Leivi – Area di Pian Seriallo)."*

Sintesi degli eventi alluvionali verificatosi nell'autunno 2014

Due eventi alluvionali hanno interessato nell'autunno 2014 il territorio della Valfontanabuona: il primo, che ha colpito particolarmente la città di Genova nel mese di ottobre, ha avuto anche ripercussioni nei Comuni di Lumarzo, Moconesi, Cicagna e Neirone, dando origine a nuovi dissesti localizzati particolarmente nella parte medio alta del bacino; il secondo nel mese di novembre ha provocato l'esondazione dell'Entella in Chiavari e generato numerosi movimenti franosi nella parte bassa del bacino del Lavagna specialmente a San Colombano Certenoli, Leivi, Carasco e Neirone.

Su quest'ultimo evento meteo, i dati censiti dai sopralluoghi diretti sono stati integrati anche con quelli emersi dal censimento dei fenomeni franosi elaborato dai ricercatori del *CNR-IRPI Geohazard Monitoring Group di Torino*.

L'aggiornamento ha portato a perimetrare 50 nuovi dissesti cartografabili alla scala di piano

di bacino. Si tratta prevalentemente di frane complesse, soil sleep e debris flow che hanno interessato le viabilità sia principali che secondarie; alcuni dissesti di maggiori dimensioni hanno provocato interdizione delle viabilità (S.C. per Caruggio San Martino in Comune di San Colombano Certenoli, S.P. 21 dopo loc. Giassina in Comune di Neirone) o danni a edifici abitativi (loc. Ponte Camposasco).

L'evento meteo-pluviometrico inoltre ha attivato fenomeni di erosione lineare su impluvi minori come ad esempio il rio dei Mandria, affluente in sponda sinistra del Lavagna in Comune di San Colombano.



CARUGGIO SAN MARTINO, IN ROCCIA E COLTRE, INTERROTTA LA S.C., IN FASE DI REALIZZAZIONE INTERVENTO DI SISTEMAZIONE (PALI, ECC.). COMUNE DI SAN COLOMBANO CERTENOLI



IN LOC. PONTE CAMPOSASCO, A MONTE DI NUOVA EDIFICAZIONE, CHE E' STATA INTERESSATA DAL DISSESTO; IN COLTRE E ROCCIA SU VERSANTE TERRAZZATO. - COMUNE DI SAN COLOMBANO CERTENOLI



NEI PRESSI DI CARUGGIO DI VIGNALE; SONO IN FASE DI REALIZZAZIONE GLI INTERVENTI DI RIPRISTINO DELLA STRADA E DI MESSA IN SICUREZZA DELL'INSEDIAMENTO SOPRASTANTE - COMUNE DI SAN COLOMBANO CERTENOLI

3.3 Problematiche di tipo idraulico (Verifiche idrauliche e Aree inondabili)

L'asta principale del torrente Lavagna, dall'abitato di Coreglia fino alla confluenza con il t. Graveglia è stata oggetto di uno studio idraulico di dettaglio realizzato tramite modello bidimensionale che ha consentito la stima di tiranti e velocità di scorrimento e. di conseguenza, l'individuazione degli ambiti normativi di fascia B, ai sensi della DGR 91/2013. Per maggiori dettagli si rimanda allo studio, redatto nel 2015 da DHI, che costituisce un documento di analisi del piano di bacino.

Le analisi e le verifiche idrauliche effettuate lungo l'asta del torrente Lavagna e dei suoi principali affluenti hanno consentito di individuare il livello di criticità di diversi tratti o sezioni d'alveo in relazione al deflusso della portata di piena con diversi periodi di ritorno.

La mappatura delle aree inondabili è un'attività complessa ed articolata che mira a simulare la propagazione dei volumi d'acqua esondati sulle aree prossime al corso d'acqua interessato e, seppur sviluppata attraverso metodologie "semplificate" che non si avvalgono di modelli matematici sofisticati di propagazione dei volumi esondati, deve comunque prefigurare scenari di evento in grado di definire le possibili dinamiche di inondazione.

Nell'ambito del presente Piano Stralcio le analisi conoscitive multidisciplinari effettuate e le simulazioni idrauliche hanno consentito la predisposizione della mappatura delle aree a rischio di inondazione per i seguenti tratti de T. Lavagna e dei suoi principali affluenti:

Torrente Lavagna

- tratto compreso tra le località di Pian dei Ratti e la località Campo Martino
- tratto ubicato in loc. Acqua di Ognio

Canale di Isolona

- tratto compreso tra la confluenza con il T. Lavagna e la località Casa Cardinali

Torrente Malvaro

- tratto compreso tra la confluenza con il T. Lavagna e la località Acqua di Sopra
- tratto compreso tra la località Novelleio e la località Riazzolo
- tratto in località Ortigaro
- tratto in località Favale di Malvaro

Torrente Litteglia

- tratto compreso tra la confluenza con il T. Lavagna e la località Fontanino

Torrente Neirone

- tratto compreso tra la confluenza con il T. Lavagna e la località Isola

Le aree a rischio d'inondazione sono state ottenute attraverso una metodologia semplificata a partire dai risultati delle verifiche idrauliche globali effettuate in tale tratto. Le verifiche globali condotte hanno permesso di caratterizzare la dinamica del deflusso attraverso il calcolo dei profili di rigurgito in moto permanente lungo tutto il tratto esaminato.

Il calcolo del profilo è stato effettuato con riferimento ad una sezione di deflusso

comprensiva della parte centrale più incisa e delle aree golenali laterali: in tal modo è stato possibile individuare e circoscrivere con buona approssimazione in modo diretto le aree inondabili e le relative altezze idrometriche di riferimento.

Tali aree sono delimitate planimetricamente sulla Carta delle Fasce di Inondabilità.

Dall'analisi della cartografia si può osservare che tutto il tratto vallivo del T. Lavagna risulta soggetto ad esondazione con invasione delle aree golenali a causa dell'insufficienza dell'alveo di morbida a contenere anche gli eventi di piena più significativi (con tempi di ritorno anche sensibilmente inferiori a 50 anni). In concomitanza di tali eventi i tiranti su entrambe le sponde sono dell'ordine di 1-2 m circa.

Da notare che la portata massima smaltibile all'interno dell'alveo di morbida è circa la metà della portata di piena centennale e che i limiti delle aree esondabili per i periodi di ritorno 50-ennale e 200-ennale, considerati nella determinazione dei profili del pelo libero in piena, coincidono sostanzialmente in quanto le aree golenali risultano completamente inondate in entrambe le situazioni, anche se con tiranti idrici diversi.

Nel tratto centrale e montano del T. Lavagna, fatta eccezione per le zone delle confluenze con il T. Malvaro, Isolona, Litteglia e Neirone e di alcuni tratti localizzati principalmente in prossimità di attraversamenti, l'alveo di morbida risulta adeguato a contenere gli eventi di piena.

Sugli affluenti investigati, ad eccezione del T. Litteglia, la presenza di molteplici manufatti di attraversamento provoca esondazioni localizzate che interessano entrambe le sponde.

Le zone delle confluenze risultano critiche per la presenza di centri densamente urbanizzati che vengono interessati dalle esondazioni.

Ai fini dell'interpretazione dei risultati va sottolineato che la metodologia semplificata applicata è da considerarsi cautelativa, in quanto non tiene conto degli effetti di laminazione dell'alveo e delle relative aree golenali e di propagazione del relativo idrogramma di piena.

Pertanto la mappatura effettuata rappresenta l'involuppo delle aree potenzialmente interessate dai fenomeni di esondazione durante un evento di piena eccezionale; questo non significa che durante tale evento l'inondazione interessi contemporaneamente tutte le aree mappate.

Le procedure di mappatura sono perciò da intendersi come strumento conoscitivo di base del Piano per quanto riguarda il rischio di inondazione.

La valutazione dei risultati della mappatura, debitamente integrati con opportuni studi di scenario e di vulnerabilità, è di fondamentale importanza per l'avvio delle azioni proprie della programmazione territoriale finalizzate alla mitigazione degli squilibri connessi al rischio idrogeologico ed idraulico in particolare.

Nella fase progettuale, dovranno altresì essere analizzate le situazioni puntuali di crisi, in precedenza identificate dal punto di vista idraulico, in corrispondenza di alcune delle sezioni critiche censite nell'ambito del bacino.

3.3.1 Verifiche idrauliche

Nel presente paragrafo è riportata l'analisi delle problematiche e delle criticità idrauliche del bacino del Torrente Lavagna con particolare riferimento all'asta principale ed ai suoi affluenti maggiori.

L'analisi è stata condotta sulla base dei dati e delle informazioni raccolte relativi alla caratterizzazione morfologica, all'idrologia di piena ed alle opere interferenti con i corsi

d'acqua.

L'indagine è stata completata attraverso una ricostruzione storica delle criticità idrauliche del bacino che ha consentito di definire i tratti di alveo e le sezioni significative sulle quali concentrare le successive attività di verifica e di analisi.

Nell'ambito di tale analisi sono state individuate due diverse tipologie di alveo: il tratto terminale del Torrente Lavagna inciso nelle alluvioni di fondo valle, con una sezione caratterizzata da una parte centrale più profonda (alveo di morbida) e da due ampie aree golenali che vengono periodicamente inondate in concomitanza di eventi di piena significativi, e la parte mediana e montana dell'asta principale e dei suoi affluenti, incassata nel substrato roccioso con quote del fondo inferiori alla viabilità spondale e solo localmente interferenti con i nuclei abitativi.

Ai fini delle verifiche idrauliche sono state utilizzate due diverse metodologie di calcolo, una di tipo globale per la verifica di un intero tronco d'alveo, e l'altra di tipo puntuale per la verifica di singole sezioni o manufatti.

L'approccio di tipo globale ha riguardato alcuni tratti del Torrente Lavagna, del Torrente Malvaro, del Canale di Isolona, del Torrente Litteglia, del Torrente Neirone e del Rio della Fontana.

Si elencano nel seguito le **verifiche globali** condotte:

Torrente Lavagna:

- dalla confluenza con il t. Sturla fino a loc. Pian dei Manzi: modello 2D
- da loc. Pian dei Manzi (LAV-01) sino alla località Campo Martino (LAV-194) per uno sviluppo complessivo di circa 22,5 km.
- in località Acqua di Ognio dalla briglia (LAV-195) al ponte della str. Provinciale N. 20 (LAV-205) per uno sviluppo complessivo di circa 0.4 km.

Torrente Malvaro:

- dalla confluenza con il Torrente Lavagna (sezione MAL-01) alla sezione MAL-31 in località Acqua di Sopra per uno sviluppo complessivo di circa 3.3 km.
- dalla sezione MAL-32 in località Novelleio alla sezione MAL-53 in località Riazolo per uno sviluppo complessivo di circa 1.5 km.
- dalla sezione MAL-54 in località Ortigaro alla sezione MAL-57 per uno sviluppo complessivo di circa 0.2 km.
- in località Favale di Malvaro dalla sezione MAL-58 alla sezione MAL-66 per uno sviluppo complessivo di circa 0.19 km.

Canale di Isolona:

- dalla confluenza con il Torrente Lavagna (sezione ISO-01) alla sezione ISO-34 in località Cardinali per uno sviluppo complessivo di circa 2.7 km.

Torrente Litteglia:

- dalla confluenza con il Torrente Lavagna (sezione LIT-01) alla sezione LIT-12 per uno sviluppo complessivo di circa 0.56 km.

Torrente Neirone:

- dalla confluenza con il Torrente Lavagna (sezione NE-01) alla sezione NE-15 in località Isola per uno sviluppo complessivo di circa 0.6 km.

Rio della Fontana:

- dalla ss. della Fontanabuona (sezione FO-01) alla sezione FO-27 ubicata in prossimità della parrocchia SS. Trinità di Aveggio.

Le **verifiche puntuali** hanno invece riguardato solo alcuni manufatti d'attraversamento del Torrente Lavagna nel tratto montano e dei suoi affluenti: Torrente Neirone, Torrente Malvaro, Canale di Isolona, Rio d'Urri, Rio Lumarzo e Rio Ferriere.

L'obiettivo primario delle verifiche è stato quello di determinare il livello di criticità idraulica complessiva dei singoli tratti o manufatti esaminati, pertanto, pur mantenendo un elevato livello d'affidabilità, esse rivestono carattere qualitativo, finalizzato alla pianificazione di bacino e non tanto alla verifica o al progetto dei singoli manufatti o di sistemazioni di tratti d'alveo.

Per quanto riguarda le caratteristiche dimensionali dell'alveo e dei manufatti con esso interferenti, si è fatto riferimento ad una serie di rilievi topografici specificatamente effettuati.

I rilievi di dettaglio sono stati integrati con la cartografia tecnica disponibile (Carta Tecnica Regionale in scala 1:5000, cartografia tecnica del Genio Civile in scala 1:1000 aggiornata al 1972 e relativa all'asta terminale del Torrente Lavagna) e con una serie di rilievi topografici effettuati da soggetti proponenti nell'ambito di progetti (manufatti d'attraversamento, opere idrauliche, ecc.) sottoposti all'autorizzazione della Provincia di Genova

Nelle sezioni di calcolo del profilo quale quota di riferimento della sommità degli argini è stata assunta quella dell'alveo di magra e di morbida.

Le verifiche idrauliche sono state condotte in regime di corrente mista, per i tre valori della portata al colmo con tempi di ritorno 50, 200 e 500 anni, riportati, per diverse sezioni di chiusura, nella Carta dei sottobacini e delle sezioni di chiusura, nonché nel presente fascicolo al paragrafo precedente.

Per le sezioni, per le quali non è specificatamente riportato il valore delle portate di piena, queste sono state determinate mediante l'utilizzo del contributo unitario, ricavato per interpolazione lineare tra quello di monte e quello di valle già definiti nel Piano.

I risultati delle verifiche idrauliche condotte in moto permanente sono riportati nell'allegato "Verifiche idrauliche globali" e comprendono:

- profili di rigurgito;
- sezioni trasversali di calcolo con l'indicazione delle quote del pelo libero;
- tabelle riassuntive dei risultati.

Sul Torrente Lavagna, quale sintesi dei risultati ottenuti, si può osservare che tutto il tratto vallivo risulta critico per l'insufficienza dell'alveo di morbida a contenere anche gli eventi di piena più significativi (con tempi di ritorno anche sensibilmente inferiori a 100 anni), dando luogo all'inondazione delle aree golenali su entrambe le sponde con tiranti dell'ordine di 1-2 metri circa.

La portata massima smaltibile all'interno dell'alveo di morbida è circa la metà della portata di piena centennale.

Nel tratto centrale e montano, fatta eccezione per le zone delle confluenze con il T. Malvaro, T. Litteglia, T. Neirone, C. di Isolona ed alcuni tratti localizzati principalmente in prossimità d'attraversamenti, l'alveo di morbida risulta adeguato a contenere gli eventi di piena.

Si può osservare che, assumendo la portata duecentennale quale parametro di riferimento, circa il 69% dei manufatti interferenti con l'asta principale del Torrente Lavagna risulta adeguato, mentre il 31% è insufficiente.

Sul Torrente Malvaro, Neirone e sul Canale di Isolona, quale sintesi dei risultati ottenuti, si può osservare che nella maggioranza dei casi i fenomeni d'inondazione sono provocati dai rigurgiti creati dai molteplici attraversamenti ubicati lungo l'asta.

Sul Torrente Litteglia, nel tratto investigato, l'alveo di morbida risulta adeguato a contenere gli eventi di piena.

Relativamente alle verifiche puntuali per quanto riguarda gli affluenti, si segnala la forte criticità della quasi totalità dei manufatti interferenti con l'alveo dei torrenti Malvaro e Canale di Isolona, mentre per il Torrente Neirone si riscontra una percentuale del 66% circa di manufatti adeguati.

Verifiche globali

Metodologie di Calcolo

Le verifiche idrauliche di tipo globale sono state effettuate mediante l'ausilio di un *software*¹² per il calcolo dell'andamento dei profili di rigurgito in moto permanente gradualmente variato in alvei naturali o canali artificiali che consente anche la valutazione degli effetti sulla corrente dovuti all'interazione con ponti, tombinature, briglie, stramazzi, aree golenali, ecc.

La determinazione del profilo teorico è ottenuta tramite l'applicazione del cosiddetto *Standard step method* che si basa sulla semplice equazione mono-dimensionale del contenuto energetico della corrente:

$$H_1 - H_2 = h_f + h_e$$

dove $H_1[m]$ ed $H_2[m]$ sono i carichi totali della corrente nelle sezioni di monte e di valle del tronco d'alveo considerato, $h_f[m]$ sono le perdite di carico dovute all'attrito del fondo e delle sponde mentre $h_e[m]$ è un termine che tiene conto degli effetti dovuti alla non cilindricità della corrente.

In particolare h_f dipende principalmente dalla scabrezza del tratto di alveo considerato ed è esprimibile come:

$$h_f = j_f \cdot L$$

con j_f pendenza motrice nel tratto di lunghezza $L[m]$.

Il calcolo di j_f è effettuabile con diverse formulazioni in funzione della pendenza motrice J in corrispondenza delle sezioni di inizio e fine di ciascun tratto.

Il calcolo del termine J nella singola sezione è effettuato mediante la:

$$J = \left[\frac{Q}{K} \right]^2$$

dove $Q[m^3/s]$ è la portata di calcolo e K (denominato *conveyance*) è ricavabile attraverso la seguente espressione:

$$K = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}}$$

dove $A[m^2]$ l'area della sezione liquida, $R[m]$ il raggio idraulico e $n[m^{-1/3} s]$ è il parametro

¹ HEC-RAS, ver 4.1.0, Hydrologic Engineering Center, U.S. Army Corps of Engineers

rappresentativo della scabrezza del fondo e delle sponde di Manning.

Il valore del coefficiente n è determinato secondo la procedura sviluppata da Cowan (Chow, 1973) selezionando le caratteristiche più rilevanti ai fini della quantificazione dell'indice di resistenza.

In particolare, vista la natura e le caratteristiche del corso d'acqua in studio, si sono considerati come parametri preminenti il materiale del fondo alveo e delle sponde, l'irregolarità del fondo alveo e le variazioni della forma e delle dimensioni delle sezioni.

Ai fini del calcolo, nelle verifiche, è stato assunto per l'asta principale del Torrente Lavagna un valore del coefficiente n pari a 0.03 (situazione di alveo naturale con presenza di ciottoli e ghiaia, sezioni di forma sostanzialmente regolare, presenza di ostruzioni in alveo quali pile di ponti, basamenti di tralicci ecc., scarsa presenza di vegetazione, andamento meandriforme) e per gli affluenti un valore del coefficiente n pari a 0.035 (situazione di alveo naturale con salti, rocce o vegetazione arbustiva-arborea in alveo).

Il termine h_e dipende invece dalla variazione del carico cinetico della corrente tra le sezioni 1 e 2 dovuta al cambio di geometria delle sezioni stesse ed è a sua volta esprimibile come:

$$h_e = \beta \cdot \left| \alpha_1 \cdot \frac{V_1^2}{2 \cdot g} - \alpha_2 \cdot \frac{V_2^2}{2 \cdot g} \right|$$

dove β è un coefficiente di contrazione o espansione dipendente dalle condizioni geometriche del tratto considerato, V_1 e V_2 [m/s] sono i valori delle velocità medie agli estremi del tronco e α_1 e α_2 sono i coefficienti correttivi dell'energia cinetica.

Il modello consente di suddividere la sezione in più zone in cui assegnare un valore diverso del parametro n di scabrezza; in particolare è possibile individuare tre zone principali: quella centrale dell'alveo inciso (denominata *main channel*) e due zone laterali golenali (denominate *right and left overbanks*).

Per ciascuna di tali zone, oltrechè per l'intera sezione di deflusso, il programma calcola il valore delle grandezze idrauliche (portata, velocità, numero di Froude, tensioni tangenziali ecc.) che caratterizzano il moto; esso consente pertanto di individuare la quota parte di portata che defluisce all'interno dell'alveo inciso e quella che compete invece alle aree golenali.

Il programma simula inoltre il deflusso attraverso ponti e tombinature (*culvert*) mediante la loro schematizzazione geometrica (impalcato, pile, setti, ecc.). La procedura di calcolo utilizzata simula il deflusso a pelo libero al di sotto dell'impalcato, il deflusso in pressione al di sotto dell'impalcato e la combinazione del deflusso in pressione e del deflusso con scavalamento dell'impalcato stesso (funzionamento a stramazzo).

Per il deflusso a pelo libero il modello consente la scelta fra diversi metodi di calcolo quali il metodo del bilancio energetico (*Standard step method*), il metodo dei momenti (*Momentum Balance*), la formula di Yarnell per correnti lente.

Il funzionamento in pressione è simulato mediante la formulazione propria dell'efflusso da luce:

$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

dove Q [m³/s] è la portata defluita attraverso la luce di area A [m²], H [m] è il dislivello tra il carico totale di monte ed il pelo libero a valle e C è il cosiddetto coefficiente di efflusso.

Il programma prevede la messa in pressione della struttura quando, secondo la scelta dell'utente, il carico totale o la quota del pelo libero risultano superiori alla quota dell'intradosso dell'impalcato.

Il funzionamento a stramazzo è simulato attraverso la formulazione standard

$$Q = C \cdot L \cdot H^{\frac{3}{2}}$$

dove $Q[m^3/s]$ è la portata defluita sulla soglia di larghezza $L[m]$ e $H[m]$ è il dislivello tra il carico totale di monte e la quota della soglia e C è il coefficiente di efflusso, variabile in funzione del tipo di stramazzo e del carico sopra la soglia.

Nel caso di funzionamento combinato di moto in pressione con scavalcamento del ponte (stramazzo) l'entità delle portate stramazzeanti e defluenti al di sotto dell'impalcato viene determinata attraverso una procedura iterativa combinando le equazioni che regolano i due fenomeni.

Verifiche puntuali

Metodologie di Calcolo

In assenza di variazioni significative della forma e delle dimensioni dell'alveo e di restringimenti bruschi di sezione sono state determinate le caratteristiche della corrente nelle condizioni critiche in ciascuna delle sezioni d'interesse.

Poiché le sezioni esaminate sono risultate prevalentemente di forma regolare, per semplicità di calcolo sono state assimilate a sezioni rettangolari equivalenti.

Sotto tali ipotesi è stata valutata la profondità critica $Y_c[m]$ mediante la:

$$Y_c = \sqrt[3]{\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{Q}{b}\right)^2}$$

dove $Q [m^3/s]$ è la portata, $b [m]$ la larghezza della sezione, $g [m/s^2]$ l'accelerazione di gravità.

In presenza di restringimenti dovuti alla particolare conformazione dell'alveo o alla presenza di manufatti artificiali (quali pile, spalle, ecc.) si è ipotizzato il moto con transizione attraverso lo stato critico all'interno della sezione ristretta ed è stata calcolata la profondità nella sezione di monte dovuta al rigurgito in corrente lenta.

Vista la natura torrentizia degli alvei in studio, tale scelta risulta cautelativa in quanto la corrente indisturbata presenta nella maggior parte dei casi le caratteristiche di corrente veloce.

Il calcolo è stato eseguito mediante l'utilizzo della formula di Marchi, valida per sezioni rettangolari:

$$Y_m = K \cdot \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g \cdot b_m^2 \cdot F_L^2}}$$

dove K è un fattore di forma, $b_m [m]$ è la larghezza della sezione di monte e F_L è il valore del numero di Froude limite tabulato in funzione del rapporto di restringimento.

Il valore di K è stato assunto, per tutte le verifiche, uguale a 1.14, corrispondente alla situazione più sfavorevole di pile con fronti squadrati.

3.3.2 Sintesi delle criticità idrauliche

Torrente Lavagna dalla confluenza con il t. Sturla fino a località Pian dei Manzi

Si rimanda alla relazione illustrativa dello studio idraulico di dettaglio.

***Torrente Lavagna da loc. Pian dei Manzi
sino alla località Campo Martino (LAV-194)***

Ai fini delle verifiche l'asta del torrente è stata divisa in quattro tratti.

Descrizione del Tratto "Monleone" dalla confluenza con il Canale di Isolona (LAV -63) sino alla confluenza con il torrente Malvaro (LAV-73)

Il tronco d'alveo oggetto di verifica è compreso tra la località Pianezza e la località Monleone, per una lunghezza complessiva di circa 1300 metri.

Nel tratto compreso tra le confluenze del T. Malvaro e Canale di Isolona l'alveo del torrente risulta inciso e costituito prevalentemente da ciottoli di medie dimensioni con presenza di depositi e di vegetazione arbustiva.

In sponda sinistra sono presenti insediamenti urbani, alla confluenza con il Canale di Isolona, e produttivi nel tratto compreso tra la sezione LAV-68 e la confluenza con il T. Malvaro; in sponda destra l'alveo è delimitato dal versante naturale.

Il tratto presenta un andamento curvilineo con direzione prevalente NO-SE e sua la pendenza media è pari allo 0.6 per cento circa.

L'alveo di magra ha una forma sostanzialmente trapezia con larghezze al fondo variabili da 17 a 34 metri circa e altezza delle sponde variabile da 10 a 4 metri circa.

La viabilità principale (S.P. 225 della Val Fontanabuona) si sviluppa in sponda sinistra ad una quota superiore al livello di massima piena.

Lungo il tratto è presente un solo manufatto d'attraversamento: ponte a due campate in località Pianezza (individuato nelle verifiche con la sigla LAV-65)

Lungo tutto il tratto sono state individuate una serie di sezioni trasversali in funzione del numero di manufatti d'attraversamento (ponti, passerelle, ecc.) e delle caratteristiche geometriche e morfologiche dell'alveo.

All'interno del modello di calcolo utilizzato le singole sezioni sono state integrate con una serie di sezioni intermedie, ottenute per interpolazione.

Risultati

Ai fini delle verifiche l'asta principale del torrente è stata divisa in due tratti distinti in funzione delle sezioni di calcolo delle portate di piena, con assegnato tempo di ritorno, riportate nello schema del reticolo idrografico.

Procedendo nell'ordine da valle verso monte i due tratti sono:

- Tratto I - da Località Pianezza alla sezione ubicata a monte della confluenza con il Rio Pendola ($L \cong 248$ m): dalla sez. LAV-63 alla sez. LAV-66;
- Tratto II - dalla sezione ubicata a monte della confluenza con il Rio Pendola alla confluenza con T. Malvaro ($L \cong 1060$ m): dalla sez. LAV-67 alla sez. LAV-73.
- Per ciascun tratto è stata effettuata una verifica idraulica di tipo globale con i tre valori di portata di massima piena cinquantennale, duecentennale e cinquecentennale.

o **Tratto I**

sezioni di chiusura di riferimento da 23A a 24A

Portata cinquantennale $Q = 772 \text{ m}^3/\text{s}$

Portata duecentennale $Q = 1360 \text{ m}^3/\text{s}$

Portata cinquecentennale $Q = 1974 \text{ m}^3/\text{s}$

o Tratto II

sezioni di chiusura di riferimento da 25A a 26A

Portata cinquantennale $Q = 766 \text{ m}^3/\text{s}$

Portata duecentennale $Q = 1350 \text{ m}^3/\text{s}$

Portata cinquecentennale $Q = 1960 \text{ m}^3/\text{s}$

Le portate relative alle chiusure 23A e 25A sono state determinate mediante interpolazione lineare in funzione dell'area sottesa tra le sezioni vicine.

Ai fini del calcolo, per l'alvo inciso, è stato adottato un coefficiente di scabrezza n pari a 0.03. Le verifiche hanno mostrato che il deflusso della portata 50-ennale avviene prevalentemente in corrente lenta con numeri di Froude variabili da 0.3 a 0.9 e velocità mediamente comprese tra 2.3 e 6.1 metri al secondo, le profondità medie del pelo libero all'interno dell'alveo risultano comprese tra 4.3 m e 8.3 m circa.

Il deflusso della portata 200-ennale e 500-ennale è del tutto analogo al caso precedente con altezze del pelo libero mediamente superiori rispettivamente di circa 2.5 m e circa 4.5 m.

Da un punto di vista generale si può osservare che l'alveo di morbida è insufficiente a contenere il deflusso delle portate duecentennale e cinquecentennale dando luogo ad inondazioni su entrambe le sponde.

Sotto il ponte LAV-65 la portata cinquantennale transita senza adeguato franco di sicurezza.

Alla confluenza con il Torrente Malvaro, il profilo risulta superiore agli argini in sponda sinistra già per la portata duecentennale, l'esondazione non interessa gli insediamenti produttivi e abitativi presenti nella zona.

Alla confluenza con il Canale di Isolona, in sponda sinistra, gli argini risultano insufficienti a contenere le tre portate di calcolo provocando esondazioni già per la portata duecentennale che interessano gli insediamenti produttivi presenti.

Descrizione del Tratto "Valle Litteglia" dalla confluenza con il torrente Malvaro (LAV-74) sino alla confluenza con il Torrente Litteglia (LAV-122)

Il tronco d'alveo oggetto di verifica è compreso tra la località Monleone ed il centro abitato di Ferrada (compreso tra i nodi 27A e 36A dello schema del reticolo idrografico), per una lunghezza complessiva di circa 5200 metri.

Nel tratto compreso tra le confluenze del T. Malvaro ed il T. Litteglia l'alveo del torrente risulta inciso e costituito prevalentemente da ciottoli di medie dimensioni con presenza di depositi e di vegetazione arbustiva.

Su entrambe le sponde sono presenti insediamenti produttivi e urbani.

Il tratto presenta un andamento articolato in un tratto con leggera curvatura con direzione SE-NO (da LAV-74 a LAV 89) e due tratti sostanzialmente rettilinei (da LAV-91 a LAV-104 e da LAV-118 alla confluenza con il T. Litteglia) collegati da due anse a gomito.

La pendenza media del tratto è pari allo 0.74 per cento circa.

L'alveo di magra ha una forma sostanzialmente trapezia con larghezze al fondo variabili da 8 a 37 metri circa e altezza delle sponde variabile da 6 a 13 metri circa.

La viabilità principale (S.P. 225 della Val Fontanabuona), che si sviluppa in sponda sinistra, in loc. Quartaie nel comune di Ferrada taglia l'ansa del Torrente e per un breve tratto si sviluppa in sponda destra.

Lungo il tratto sono presenti, da valle verso monte, i seguenti manufatti di attraversamento: ponte a campata unica in località Monleone (individuato nelle verifiche con la sigla LAV-76),

Ponte della Vittoria, ad arco, nel centro abitato di Cicagna (LAV-89), ponte ad arco nel centro abitato di Cicagna (LAV-90), ponte ad una campata in località Ceriallo (LAV-102), ponte ad arco, S.P. 225 della Val Fontanabuona, in località Pianone (LAV-112), ponte ad una campata, S.P. 225 della Val Fontanabuona, in località Gian Botta (LAV-117) e ponte ad una campata, con pila in sponda destra, nel centro abitato di Ferrada (LAV-120).

Lungo tutto il tratto sono state individuate una serie di sezioni trasversali in funzione del numero di manufatti d'attraversamento (ponti, passerelle, ecc.) e delle caratteristiche geometriche e morfologiche dell'alveo.

All'interno del modello di calcolo utilizzato le singole sezioni sono state integrate con una serie di sezioni intermedie, ottenute per interpolazione.

Risultati

Ai fini delle verifiche l'asta principale del torrente è stata divisa in cinque tratti distinti in funzione delle sezioni di calcolo delle portate di piena, con assegnato tempo di ritorno, riportate nello schema del reticolo idrografico.

Procedendo nell'ordine da valle verso monte i cinque tratti sono:

- Tratto I – dalla confluenza con il T. Malvaro alla confluenza con Rio della Botte in località Landrei ($L \cong 809$ m): dalla sez. LAV-74 alla sez. LAV-86;
- Tratto II - dalla sezione ubicata a monte della confluenza con il Rio della Botte alla località Ponte dei Boccioni ($L \cong 1818$ m): dalla sez. LAV-87 alla sez. LAV-100;
- Tratto III - dalla località Ponte dei Baccioni alla località Gallinaria ($L \cong 610$ m): dalla sez. LAV-101 alla sez. LAV-107;
- Tratto VI - dalla località Gallinaria alla località Gian Botta ($L \cong 1324$ m): dalla sez. LAV-108 alla sez. LAV-116;
- Tratto V - dalla località Gian Botta alla confluenza con T. Litteglia ($L \cong 652$ m): dalla sez. LAV-117 alla sez. LAV-122;

Per ciascun tratto è stata effettuata una verifica idraulica di tipo globale con i tre valori di portata di massima piena cinquantennale, duecentennale e cinquecentennale.

o Tratto I

sezioni di chiusura di riferimento	da 27A a 28A
Portata cinquantennale	$Q = 667 \text{ m}^3/\text{s}$
Portata duecentennale	$Q = 1175 \text{ m}^3/\text{s}$
Portata cinquecentennale	$Q = 1706 \text{ m}^3/\text{s}$

o Tratto II

sezioni di chiusura di riferimento	da 29A a 30A
Portata cinquantennale	$Q = 649 \text{ m}^3/\text{s}$
Portata duecentennale	$Q = 1143 \text{ m}^3/\text{s}$
Portata cinquecentennale	$Q = 1659 \text{ m}^3/\text{s}$

o Tratto III

sezioni di chiusura di riferimento	da 31A a 32A
Portata cinquantennale	$Q = 636 \text{ m}^3/\text{s}$
Portata duecentennale	$Q = 1121 \text{ m}^3/\text{s}$
Portata cinquecentennale	$Q = 1627 \text{ m}^3/\text{s}$

o Tratto IV

sezioni di chiusura di riferimento	da 33A a 34A
Portata cinquantennale	$Q = 628 \text{ m}^3/\text{s}$
Portata duecentennale	$Q = 1107 \text{ m}^3/\text{s}$
Portata cinquecentennale	$Q = 1607 \text{ m}^3/\text{s}$

o <u>Tratto V</u>	
sezioni di chiusura di riferimento	da 35A a 36A
Portata cinquantennale	$Q = 610 \text{ m}^3/\text{s}$
Portata duecentennale	$Q = 1075 \text{ m}^3/\text{s}$
Portata cinquecentennale	$Q = 1561 \text{ m}^3/\text{s}$

Le portate relative alla chiusura 27A, 29A, 31A, 33A e 35A sono state determinate mediante interpolazione lineare in funzione dell'area sottesa, rispetto alle sezioni vicine.

Ai fini del calcolo, per l'alveo inciso, è stato adottato un coefficiente di scabrezza n pari a 0.03.

Le verifiche hanno mostrato che il deflusso della portata 50-ennale avviene con alternanza di correnti lente e veloci con numeri di Froude variabili da 0.3 a 1.9 e velocità mediamente comprese tra 2.2 e 10.3 metri al secondo, le profondità medie del pelo libero all'interno dell'alveo risultano comprese tra 3.4 m e 9.8 m circa.

Il deflusso della portata 200-ennale e 500-ennale è del tutto analogo al caso precedente con altezze del pelo libero mediamente superiori rispettivamente di circa 2.2 m e circa 4.1 m.

Le sezioni idrauliche del tratto risultano prevalentemente sufficienti al deflusso delle portate di piena ad eccezione di qualche tratto localizzato in corrispondenza di attraversamenti.

Procedendo da monte verso valle, il ponte localizzato subito a valle della confluenza con il T. Litteglia (LAV-120), con pila in sponda destra, viene sovrastato dalla portata duecentennale ed il rigurgito che si propaga verso monte provoca esondazione su entrambe le sponde.

Nel tratto successivo la corrente si mantiene veloce fino alla briglia (LAV-119) in prossimità della quale si ha esondazione in sponda sinistra, per la portata 500-ennale, per insufficienza degli argini.

A valle della briglia la corrente si mantiene lenta fino al ponte a campata unica (LAV-117) localizzato in loc. Gianbotta che risulta sufficiente al transito delle tre portate di piena.

Nel tratto compreso tra il ponte LAV-117 e LAV-112, vista l'assenza di aree urbanizzate, non si riscontrano particolari criticità anche se si verificano locali fenomeni d'esondazione per insufficienza dell'alveo di magra.

Il ponte ad arco, localizzato in località Pianone, risulta sufficiente per le tre portate di calcolo, ma gli argini risultano inferiori alle portate di piena duecentennale e cinquecentennale.

Procedendo verso valle, fino alla sezione LAV-106, non si riscontrano zone con particolari problemi.

In corrispondenza del centro abitato di Cicagna, nel tratto compreso tra i ponti LAV-90 e LAV-89, è presente una zona di grande criticità per la presenza di edifici con aperture incompatibili con il livello di piena della portata duecentennale e cinquecentennale.

Entrambi i ponti risultano sufficienti per le tre portate di piena, ma i rigurgiti che si propagano verso monte provocano esondazioni che interessano le abitazioni presenti in sponda destra e sinistra.

A monte della confluenza la sezione idraulica del tratto compreso tra le sezioni LAV-82 e LAV-85 risulta insufficiente al deflusso della portata cinquecentennale con esondazione che interessa gli insediamenti produttivi in sponda destra.

Per quanto riguarda i sette ponti presenti lungo il tratto va segnalato che il ponte LAV-120 è insufficiente per la portata duecentennale, il ponte LAV-102 è insufficiente per la portata 500-ennale mentre i ponti LAV-117, LAV-112, LAV-90, LAV-89 e LAV-76 sono sufficienti per le tre portate di piena.

In tutto il tratto le quote del pelo libero rimangono sempre inferiori a quelle della Strada 225

della Val Fontanabuona.

Descrizione del Tratto “Valle Neirone” dalla confluenza con il torrente Litteglia (LAV-123) sino alla confluenza con il Torrente Neirone (LAV-176)

Il tronco d'alveo oggetto di verifica è compreso tra la confluenza con il T. Neirone (LAV-123) e la confluenza con il T. Litteglia. (LAV-176) (compreso tra i nodi 37A e 40A dello schema del reticolo idrografico), per una lunghezza complessiva di circa 3900 metri.

L'alveo del torrente è caratterizzato da salti di fondo e presenta un'alternanza di tratti costituiti prevalentemente da ciottoli di medie dimensioni con presenza di depositi e di vegetazione arbustiva e tratti scavati nella roccia con presenza di massi di varie dimensioni.

Su entrambe le sponde sono presenti insediamenti produttivi e urbani.

Il tratto presenta un andamento articolato in un tratto rettilineo con direzione SE-NO (da LAV-123 a LAV-129) seguito da tre anse a gomito (da LAV-129 a LAV-164) ed un tratto con leggera curvatura in direzione E-O (da LAV-164 a LAV-176)

L'alveo di magra ha una forma sostanzialmente trapezia con larghezze al fondo variabili da 4 a 35 metri circa e altezza delle sponde variabile da 4 a 13 metri circa.

La viabilità principale (S.P. 225 della Val Fontanabuona) si sviluppa in sponda sinistra ad una quota superiore al livello di massima piena.

Lungo il tratto sono presenti, da valle verso monte, otto manufatti di attraversamento: ponte ad arco nell'abitato di Ferrada (individuato nelle verifiche con la sigla LAV-125), ponte a tre pile in località Caldane (LAV-131), ponte ad arco in località Terrarossa Colombo (LAV-134), passerella portatubo ad una campata in località Pezzonasca (LAV-139), ponte a due campate in località Pezzonasca (LAV-147), passerella pedonale a tre campate in località Bassi (LAV-162), ponte ad una campata nell'abitato di Gattorna (LAV-172) e ponte a tre campate a valle della confluenza con il T. Neirone (LAV-175).

Lungo tutto il tratto sono state individuate una serie di sezioni trasversali in funzione del numero di manufatti d'attraversamento (ponti, passerelle) e delle caratteristiche geometriche e morfologiche dell'alveo.

All'interno del modello di calcolo utilizzato le singole sezioni sono state integrate con una serie di sezioni intermedie, ottenute per interpolazione.

Risultati

Ai fini delle verifiche l'asta principale del torrente è stata divisa in due tratti distinti in funzione delle sezioni di calcolo delle portate di piena, con assegnato tempo di ritorno, riportate nello schema del reticolo idrografico.

Procedendo nell'ordine da valle verso monte i due tratti sono:

- Tratto I – dalla confluenza con il T. Litteglia alla confluenza con Rio Rosso in località Basti ($L \leq 3739$ m): dalla sez. LAV-123 alla sez. LAV-174.5;
- Tratto II - dalla sezione ubicata in corrispondenza della confluenza con il Rio Rosso alla confluenza con il T. Neirone ($L \leq 180$ m): dalla sez LAV-174.5 alla sez. LAV-176;

Per ciascun tratto è stata effettuata una verifica idraulica di tipo globale con i tre valori di portata di massima piena cinquantennale, duecentennale e cinquecentennale.

o Tratto I

sezioni di chiusura di riferimento

da 37A a 38A

Portata cinquantennale

$Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$

Portata duecentennale	$Q = 1057 \text{ m}^3/\text{s}$
Portata cinquecentennale	$Q = 1534 \text{ m}^3/\text{s}$

o Tratto II

sezioni di chiusura di riferimento da 38A a 40A

Portata cinquantennale	$Q = 582 \text{ m}^3/\text{s}$
Portata duecentennale	$Q = 1027 \text{ m}^3/\text{s}$
Portata cinquecentennale	$Q = 1491 \text{ m}^3/\text{s}$

Le portate relative alla chiusura 37A sono state determinate mediante interpolazione lineare in funzione dell'area sottesa, rispetto alle sezioni vicine

Ai fini del calcolo è stato adottato un coefficiente di scabrezza n pari a 0.035 tra le sezioni LAV-172 e LAV-162, LAV-135 e LAV-132 ed in corrispondenza del ponte LAV-139. Nei rimanenti tratti è stato adottato un coefficiente di scabrezza n pari a 0.03.

Le verifiche hanno mostrato che il deflusso della portata 50-ennale avviene con alternanza di correnti lente e veloci con numeri di Froude variabili da 0.2 a 2.4 e velocità mediamente comprese tra 1.7 e 10.3 metri al secondo, le profondità medie del pelo libero all'interno dell'alveo risultano comprese tra 2.1 m e 11.7 m circa

Il deflusso della portata 200-ennale e 500-ennale è del tutto analogo al caso precedente con altezze del pelo libero mediamente superiori rispettivamente di circa 2.1 m e circa 3.8 m.

Procedendo da monte verso valle, il ponte a tre campate, localizzato subito a valle della confluenza con il T. Neirone, risulta adeguato al transito della portata cinquantennale mentre viene sommerso dalle portate duecentennale e cinquecentennale.

Il rigurgito che si propaga verso monte sovrasta gli argini e provoca esondazione su entrambe le sponde con allagamento del nucleo residenziale ubicato in sponda sinistra.

Il tratto compreso tra LAV-164 e LAV-157 presenta grande criticità per la presenza in sponda destra di edifici a quote non compatibili con i livelli di piena.

In particolare la passerella pedonale a struttura metallica (LAV-162), ubicata in località Bassi, è gravemente insufficiente per le tre portate di piena.

In sponda destra, in adiacenza all'alveo, è presente un nucleo di case che viene inondato già per la portata cinquantennale.

Il rigurgito che si propaga verso monte provoca, per la portata duecentennale e cinquecentennale, allagamenti sulla piana in sponda destra.

La portata cinquantennale transita con un franco ridotto (20 cm) sotto l'impalcato del ponte a due campate (LAV-147) ubicato in località Pezzonasca. Il rigurgito che si propaga verso monte provoca per la portata cinquecentennale allagamenti in sponda destra e sinistra che non interessano gli insediamenti produttivi presenti.

Nel tratto compreso tra le sezioni LAV-123 e LAV-133 la presenza del ponte LAV-134 e del relativo rigurgito che si propaga verso monte provoca esondazioni su entrambe le sponde.

A monte della confluenza la sezione idraulica del tratto compreso tra le sezioni LAV-130 e LAV-123 risulta insufficiente al deflusso della portata cinquecentennale con esondazione in sponda sinistra.

Per quanto riguarda gli otto ponti presenti lungo il tratto va segnalato che il ponte LAV-162 è insufficiente per le tre portate di verifica; sotto i ponti LAV-134, LAV-147 e LAV-175 la portata cinquantennale transita con franco ridotto; il ponte LAV-139 è insufficiente già per la portata duecentennale; i ponti LAV-172, LAV-131 e LAV-125 sono sufficienti per le tre portate di piena.

In tutto il tratto le quote del pelo libero rimangono sempre inferiori a quelle della SP 225 della Val Fontanabuona.

Descrizione del Tratto “monte” dalla confluenza con il torrente Neirone (LAV-177) sino alla località Campo Martino (LAV-194)

Il tronco d'alveo oggetto di verifica è compreso tra la sezione ubicata in località Campo Martino, a monte del ponte della S.S. della Valfontanabuona (LAV-PT27), e la confluenza con il T. Neirone (LAV-177), per una lunghezza complessiva di circa 1660 metri.

L'alveo del torrente è costituito prevalentemente da ciottoli di medie dimensioni con presenza di depositi e di vegetazione arbustiva.

L'alveo in sponda destra è prevalentemente delimitato dal versante naturale mentre in sponda sinistra sono presenti insediamenti produttivi.

In località Donega, a monte del ponte LAV-185, sulla sponda destra è ubicato un capannone il cui muro di contenimento restringe fortemente la sezione di deflusso.

Il tratto presenta un andamento curvilineo con direzione prevalente SE-NO e sua la pendenza media è pari allo 1.2 per cento circa.

La viabilità principale (S.P. 225 della Val Fontanabuona) si sviluppa in sponda sinistra.

L'alveo di magra ha una forma sostanzialmente trapezia con larghezze al fondo variabili da 7 a 40 metri circa e altezza delle sponde variabile da 4 a 12 metri circa.

Lungo il tratto sono presenti, da valle verso monte, quattro manufatti di attraversamento: ponte ad una campata in località valle Calda (LAV-180), ponte ad arco in località Donega (LAV-185), ponte a campata unica della S.P. della Valfontanabuona in località Campo Martino (LAV-191) e ponte ad arco in località Campo Martino (individuato nelle verifiche con la sigla LAV-192).

Lungo tutto il tratto sono state individuate una serie di sezioni trasversali in funzione del numero di manufatti d'attraversamento (ponti, passerelle) e delle caratteristiche geometriche e morfologiche dell'alveo.

All'interno del modello di calcolo utilizzato le singole sezioni sono state integrate con una serie di sezioni intermedie, ottenute per interpolazione.

Risultati

Per il tratto (compreso tra LAV-177 e LAV-194) è stata effettuata una verifica idraulica di tipo globale con i tre valori di portata di massima piena cinquantennale, duecentennale e cinquecentennale.

sezioni di chiusura di riferimento	da 41A a 42A
Portata cinquantennale	$Q = 457 \text{ m}^3/\text{s}$
Portata duecentennale	$Q = 804 \text{ m}^3/\text{s}$
Portata cinquecentennale	$Q = 1167 \text{ m}^3/\text{s}$

Le portate relative alla chiusura 41A sono state determinate mediante interpolazione lineare in funzione dell'area sottesa, rispetto alle sezioni vicine.

Ai fini del calcolo è stato adottato un coefficiente di scabrezza n pari a 0.03 per tutto il tratto. Quale condizione al contorno di monte si è imposto il moto uniforme in una sezione fittizia posta a 100 metri dall'ultima rilevata nel tratto in esame.

Le verifiche hanno mostrato che il deflusso della portata 50-ennale avviene in corrente

veloce dalla sezione LAV-194 alla sezione LAV-182 con numeri di Froude variabili da 1.1 a 1.9 e velocità mediamente comprese tra 4.3 e 8.5 metri al secondo ed in corrente lenta dalla sezione LAV-181 alla sezione LAV-177 con numeri di Froude variabili da 0.48 a 0.73 e velocità mediamente comprese tra 2.7 e 4.4 metri al secondo. Le profondità medie del pelo libero all'interno dell'alveo risultano comprese tra 2.5 m e 7.0 m circa

Il deflusso della portata 200-ennale e 500-ennale è del tutto analogo al caso precedente con altezze del pelo libero mediamente superiori rispettivamente di circa 1.8 m e circa 3.4 m.

Procedendo da monte verso valle il ponte ad arco LAV-192 viene sormontato dalla portata cinquecentennale mentre risulta adeguato al deflusso delle portate duecentennale e cinquantennale.

I ponti LAV-191, a campata unica ubicato in località Campo Martino, e LAV-185, ad arco ubicato in località Donega, risultano adeguati al transito di tutte e tre le portate di piena.

A monte del ponte LAV-185, nel tratto compreso tra le sezioni LAV-187 e LAV-188, gli argini in sponda destra non risultano adeguati a contenere il deflusso delle portate di piena. Il restringimento della sezione di deflusso, cagionato dalla presenza di un capannone in fregio all'alveo, induce un rigurgito che provoca esondazioni già per la portata cinquantennale che interessano il manufatto stesso.

Il ponte LAV-180 risulta adeguato per il transito della portata cinquantennale e viene sormontato dalle portate duecentennale e cinquecentennale.

Dalla sezione LAV-182 alla sezione LAV-177 si hanno fenomeni d'esondazione in sponda destra e sinistra per insufficienza degli argini.

***Torrente Lavagna Loc. Acqua di Ognio dalla briglia (LAV-195)
sino al ponte della str. Provinciale N. 20 (LAV-205)***

Il tronco d'alveo oggetto di verifica è compreso tra la briglia (LAV-195) ed il ponte della str. Provinciale N. 20 (LAV-205) (compreso tra i nodi 45A e 47A dello schema del reticolo idrografico), per una lunghezza complessiva di circa 303 metri.

L'alveo del torrente è costituito prevalentemente da ciottoli di medie dimensioni con presenza di depositi e di vegetazione arbustiva.

Lungo l'alveo sono presenti un gruppo di case in sponda destra tra le sezioni LAV-195 e LAV-197 ed insediamenti urbani e produttivi in sponda sinistra tra le sezioni LAV-197 e LAV-205.

Dal piazzale antistante la casa in sponda destra diparte una stradina pedonale che si sviluppa parallelamente all'alveo e permette l'accesso a questo.

Il tratto è costituito da due curve a gomito e la sua pendenza media è pari allo 0.7 per cento circa.

La viabilità principale (S.P. 225 della Val Fontanabuona) si sviluppa in sponda sinistra ad una quota superiore al livello di massima piena.

L'alveo di magra ha una forma sostanzialmente trapezia con larghezze al fondo variabili da 10 a 22 metri circa e altezza delle sponde variabile da 1 a 13 metri circa.

Lungo il tratto sono presenti, da valle verso monte, una briglia in c.a. (individuata nelle verifiche con la sigla LAV-195) ed un ponte ad arco (LAV-205).

Lungo tutto il tratto sono state individuate una serie di sezioni trasversali in funzione del numero di manufatti d'attraversamento (ponti, passerelle,) e delle caratteristiche geometriche e morfologiche dell'alveo.

All'interno del modello di calcolo utilizzato le singole sezioni sono state integrate con una serie di sezioni intermedie, ottenute per interpolazione.

Risultati

Ai fini delle verifiche l'asta principale del torrente è stata divisa in due tratti distinti in funzione delle sezioni di calcolo delle portate di piena, con assegnato tempo di ritorno, riportate nello schema del reticolo idrografico.

Procedendo nell'ordine da valle verso monte i due tratti sono:

- Tratto I – dalla briglia alla confluenza con il T. d'Urri ($L \cong 63$ m): dalla sez. LAV-195 alla sez. LAV-198;
- Tratto II - dalla sezione ubicata a monte della confluenza con il T. d'Urri al Ponte della S.S. n. 225 ($L \cong 340$ m): dalla sez LAV-198 alla sez. LAV-205.

Per ciascun tratto è stata effettuata una verifica idraulica di tipo globale con i tre valori di portata di massima piena cinquantennale, duecentennale e cinquecentennale.

* Tratto I

sezioni di chiusura di riferimento	da 45A a 46A
Portata cinquantennale	$Q = 380 \text{ m}^3/\text{s}$
Portata duecentennale	$Q = 671 \text{ m}^3/\text{s}$
Portata cinquecentennale	$Q = 971 \text{ m}^3/\text{s}$

* Tratto II

sezioni di chiusura di riferimento	da 46A a 47A
Portata cinquantennale	$Q = 314 \text{ m}^3/\text{s}$
Portata duecentennale	$Q = 554 \text{ m}^3/\text{s}$
Portata cinquecentennale	$Q = 804 \text{ m}^3/\text{s}$

Le portate relative alla chiusura 45A e 47A sono state determinate mediante interpolazione lineare in funzione dell'area sottesa, rispetto alle sezioni vicine.

Ai fini del calcolo è stato adottato un coefficiente di scabrezza n pari a 0.03 per tutto il tratto. Quale condizione al contorno di monte si è imposto il moto uniforme in una sezione fittizia posta a 100 metri dall'ultima rilevata nel tratto in esame.

Le verifiche hanno mostrato che il deflusso della portata 50-ennale avviene in corrente lenta dalla sezione LAV-205 alla sezione LAV-198 con numeri di Froude variabili da 0.49 a 0.56 e velocità mediamente comprese tra 2.6 e 3.7 metri al secondo ed in corrente veloce dalla sezione LAV-198 alla sezione LAV-195 con numeri di Froude variabili da 1.00 a 1.74 e velocità mediamente comprese tra 6.0 e 7.7 metri al secondo. Le profondità medie del pelo libero all'interno dell'alveo risultano comprese tra 2.9 m e 5.9 m circa

Il deflusso della portata 200-ennale e 500-ennale è del tutto analogo al caso precedente con altezze del pelo libero mediamente superiori rispettivamente di circa 2.1 m e circa 4.0 m.

Procedendo da monte verso valle, il ponte ad arco della strada statale n.225 (LAV-205), risulta adeguato al transito di tutte e tre le portate di piena.

A valle del ponte fino alla sezione LAV-198, per insufficienza degli argini, si hanno fenomeni d'esondazione, in sponda sinistra con interessamento, per le portate duecentennale e cinquecentennale, degli edifici presenti.

Tra la sezione LAV-198 e la briglia (LAV-195) si hanno fenomeni d'esondazione in sponda destra con allagamento degli edifici per la portata cinquecentennale.

***Torrente Malvaro dalla confluenza con il Torrente Lavagna (sezione MAL 01)
alla sezione MAL-31 in località Acqua di Sopra***

Il tronco d'alveo oggetto di verifica è compreso tra la confluenza con il T. Lavagna (MAL-01) e la sezione MAL-31 ubicata in località Acqua di Sopra (nodo 1W dello schema del reticolo idrografico), per una lunghezza complessiva di circa 3200 metri.

Il torrente è costituito prevalentemente da ciottoli di medie dimensioni, con presenza di depositi e vegetazione, nella zona della confluenza (da MAL-01 a MAL-04) e da substrato roccioso affiorante con vegetazione arbustiva e arborea in alveo nel rimanente tratto.

Il tratto presenta un andamento articolato in tre tratti sostanzialmente rettilinei con direzione SO-NE (da MAL-01 a MAL-07, da MAL-11 a MAL-16 e da MAL-25 a MAL-31) collegati da tre anse a gomito.

La pendenza media del tratto è pari allo 2.2 per cento circa.

La viabilità principale (S.P. n.23 della Scoglina) si sviluppa in sponda destra per tutto il tratto investigato.

Il tratto, ad eccezione della zona della confluenza, risulta debolmente urbanizzato con isolati agglomerati di case ed insediamenti produttivi ubicati prevalentemente in sponda destra.

L'alveo in sponda sinistra, fatta eccezione per il tratto compreso tra MAL-01 e MAL-10, è delimitato dal versante naturale.

L'alveo di magra ha una forma sostanzialmente trapezia con larghezze al fondo variabili da 7.5 a 33 metri circa e altezza delle sponde variabile da 2.5 a 13.7 metri circa.

Lungo il tratto sono presenti, da valle verso monte, quattro manufatti di attraversamento: ponte ad arco (MAL-3) della strada provinciale n.225, ponte ad una campata in località Piane (MAL-14), ponte a tre campate in località Acqua di Sotto (MAL-24) e ponte a campata unica in località Acqua di Sotto (MAL-27).

Lungo tutto il tratto sono state individuate una serie di sezioni trasversali in funzione del numero di manufatti d'attraversamento (ponti, passerelle) e delle caratteristiche geometriche e morfologiche dell'alveo.

All'interno del modello di calcolo utilizzato le singole sezioni sono state integrate con una serie di sezioni intermedie, ottenute per interpolazione.

Risultati

Per il tratto (compreso tra MAL-01 e MAL-31) è stata effettuata una verifica idraulica di tipo globale con i tre valori di portata di massima piena cinquantennale, duecentennale e cinquecentennale.

sezione di chiusura di riferimento	1W
Portata cinquantennale	$Q = 370 \text{ m}^3/\text{s}$
Portata duecentennale	$Q = 654 \text{ m}^3/\text{s}$
Portata cinquecentennale	$Q = 949 \text{ m}^3/\text{s}$

Ai fini del calcolo è stato adottato un coefficiente di scabrezza n pari a 0.03 per il tratto compreso tra le sezioni MAL-01 e MAL-04 ed n pari a 0.035 per il rimanente tratto.

Quale condizione al contorno di monte si è imposto il moto uniforme in una sezione fittizia posta a 100 metri dall'ultima rilevata nel tratto in esame.

Le verifiche hanno mostrato che il deflusso della portata 50-ennale avviene prevalentemente in corrente lenta tra le sezioni MAL-01- e MAL-06 con numeri di Froude variabili da 0.4 a 0.67 e velocità mediamente comprese tra 2.9 e 5.2 metri al secondo, e prevalentemente in corrente veloce nel rimanente tratto con numeri di Froude variabili da 1.0 a 1.9 e velocità mediamente comprese tra 5.4 e 9.8 metri al secondo. Le profondità medie del pelo libero

all'interno dell'alveo risultano comprese tra 2.7 m e 6.9 m circa.

Il deflusso della portata 200-ennale e 500-ennale è del tutto analogo al caso precedente con altezze del pelo libero mediamente superiori rispettivamente di circa 1.8 m e circa 3.4 m.

Procedendo da valle verso monte, i ponti ad una campata MAL-3, MAL-14 e MAL-27 risultano sufficienti per la sola portata cinquantennale. Il Ponte MAL-24, a tre campate, è adeguato per le tre portate di piena.

Tra le sezioni MAL-31 e MAL-28 gli argini in sponda destra non risultano sufficienti a contenere le portate di piena ed in particolare in corrispondenza della sezione MAL-30 si hanno esondazioni già per la portata cinquantennale.

Procedendo verso valle la corrente si mantiene veloce fino alla sezione MAL-23 ove, a causa del restringimento della sezione di deflusso, la corrente passa lo stato critico ed il rigurgito provocato allaga la piana in sponda destra già per la portata a cinquantennale.

Tra le sezioni MAL-21 e MAL-17 l'alveo risulta insufficiente al transito delle tre portate di piena provocando l'inondazione della piana, non urbanizzata, su entrambe le sponde.

Il ponte MAL-14, sufficiente per la sola portata cinquantennale, induce un rigurgito che si propaga verso monte provocando esondazioni su entrambe le sponde con allagamento, per la portata duecentennale, dei manufatti ubicati in sponda destra.

A valle del ponte MAL-14 la corrente si mantiene veloce fino alla sezione MAL-09 ove passa lo stato critico ed il rigurgito che si crea provoca allagamenti in sponda destra già per la portata a cinquantennale interessando i fabbricati presenti.

La zona della confluenza è interessata da fenomeni d'esondazione, su entrambe le sponde, già per la portata duecentennale.

Torrente Malvaro dalla sezione MAL-32 in località Novelleio alla sezione MA-53 in località Riazzolo

Il tronco d'alveo oggetto di verifica è compreso tra la sezione MAL-32 ubicata in località Novelleio e la sezione MAL-53 ubicata in località Riazzolo, per una lunghezza complessiva di circa 1500 metri.

Il torrente è costituito prevalentemente da substrato roccioso affiorante con vegetazione arbustiva in alveo.

Il tratto presenta un andamento meandriforme con una pendenza media pari allo 2.3 per cento circa.

La viabilità principale (S.P. n.23 della Scoglina) si sviluppa in sponda destra per tutto il tratto investigato.

Tra le sezioni MAL-36 e MAL-50, sulle piane presenti in sponda destra e sinistra, sono presenti gruppi di case isolate, nel rimanente tratto l'alveo è delimitato dal versante naturale.

L'alveo di magra ha una forma sostanzialmente trapezia con larghezze al fondo variabili da 5 a 21 metri circa e altezza delle sponde variabile da 0.7 a 5 metri circa.

Lungo il tratto sono presenti, da valle verso monte, cinque manufatti di attraversamento: ponte ad una campata (MAL-33) in località Novelleio, ponti a tre e due campate in località Colletta (MAL-38 e MAL-42), ponte da arco in pietra in località Castagnelo (MAL-45) e ponte a campata unica in località Riazzolo (MAL-52).

Lungo tutto il tratto sono state individuate una serie di sezioni trasversali in funzione del numero di manufatti d'attraversamento (ponti, passerelle) e delle caratteristiche

geometriche e morfologiche dell'alveo.

All'interno del modello di calcolo utilizzato le singole sezioni sono state integrate con una serie di sezioni intermedie, ottenute per interpolazione.

Risultati

Per il tratto (compreso tra MAL-32 e MAL-53) è stata effettuata una verifica idraulica di tipo globale con i tre valori di portata di massima piena cinquantennale, duecentennale e cinquecentennale calcolati in una sezione di chiusura, posta in corrispondenza della sezione MAL-32, che sottende un'area di 16.1 km².

I tre valori di portata sono stati ricavati, mediante interpolazione lineare in funzione dell'area, utilizzando come contributo unitario di monte quello della sezione 5W e come contributo unitario di valle quello della sezione 2W che sottendono rispettivamente un'area di 13.4 Km² e 25.3 km².

sezioni di chiusura di riferimento	4W bis
Portata cinquantennale	Q = 237 m ³ /s
Portata duecentennale	Q = 419 m ³ /s
Portata cinquecentennale	Q = 608 m ³ /s

Ai fini del calcolo è stato adottato un coefficiente di scabrezza n pari a 0.035.

Quale condizione al contorno di monte si è imposto il moto uniforme in una sezione fittizia posta a 100 metri dall'ultima rilevata nel tratto in esame.

Le verifiche hanno mostrato che il deflusso della portata 50-ennale avviene con alternanza di correnti lente e veloci con numeri di Froude variabili da 0.5 a 2.2 e velocità mediamente comprese tra 3.2 e 9.5 metri al secondo. Le profondità medie del pelo libero all'interno dell'alveo risultano comprese tra 1.5 m e 2.2 m circa.

Il deflusso della portata 200-ennale e 500-ennale è del tutto analogo al caso precedente con altezze del pelo libero mediamente superiori rispettivamente di circa 0.9 m e circa 1.9 m.

I ponti ad una campata MAL-38 e MAL-42 risultano insufficienti già per la portata cinquantennale, sotto il ponte MAL-45 la portata duecentennale transita con franco ridotto, il ponte MAL-33 viene sormontato dalla portata duecentennale mentre il ponte MAL-52 risulta insufficiente solo per la portata cinquecentennale.

Procedendo verso valle la corrente si mantiene veloce fino alla sezione MAL-48 ove, a causa del restringimento della sezione di deflusso, la corrente passa lo stato critico ed il rigurgito che si propaga verso monte provoca allagamenti in sponda destra già per la portata a cinquantennale. L'esondazione interessa un gruppo di case, poste su più livelli in fregio all'alveo.

In località Colletta, tra le sezioni MAL-42 e MAL-36, si hanno allagamenti delle piane in sponda destra e sinistra, già per la portata cinquantennale, con interessamento dei manufatti presenti.

Procedendo verso valle non si hanno situazioni di particolare criticità. In località Novelleio, a monte del ponte si hanno esondazioni sulla piana in sponda destra per la portata duecentennale che non interferiscono con il nucleo di case presente.

Torrente Malvaro, loc. Ortigaro, dalla sezione MAL-54 alla sezione MAL-57

Il tronco d'alveo oggetto di verifica è compreso tra il campo sportivo (MAL-54) ed il ponte pedonale ubicato in località Ortigaro (MAL-57), per una lunghezza complessiva di circa 210

metri.

Il torrente è costituito prevalentemente da substrato roccioso affiorante con vegetazione arbustiva in alveo.

Il tratto presenta un andamento sostanzialmente rettilineo con direzione prevalente S-N e la sua pendenza media è pari allo 2.7 per cento circa.

La viabilità principale (S.P. n.23 della Scoglina) si sviluppa in sponda destra e risulta a quota superiore ai massimi livelli di piena per tutto il tratto investigato.

Il tratto risulta urbanizzato in sponda destra tra le sezioni MAL-57 e MAL-55 e delimitato dal versante naturale in sponda sinistra.

L'alveo di magra ha una forma sostanzialmente trapezia con larghezze al fondo variabili da 6 a 14 metri circa ed altezza delle sponde variabile da 2.4 a 5.9 metri circa.

Lungo il tratto sono presenti, da valle verso monte, due manufatti di attraversamento: ponte a due campate (MAL-54) e ponte pedonale, a due campate, (MAL-57).

Lungo tutto il tratto sono state individuate una serie di sezioni trasversali in funzione del numero di manufatti d'attraversamento (ponti, passerelle) e delle caratteristiche geometriche e morfologiche dell'alveo.

All'interno del modello di calcolo utilizzato le singole sezioni sono state integrate con una serie di sezioni intermedie, ottenute per interpolazione.

Risultati

Per il tratto (compreso tra MAL-54 e MAL-57) è stata effettuata una verifica idraulica di tipo globale con i tre valori di portata di massima piena cinquantennale, duecentennale e cinquecentennale.

sezione di chiusura di riferimento	4W
Portata cinquantennale	Q = 258 m ³ /s
Portata duecentennale	Q = 456 m ³ /s
Portata cinquecentennale	Q = 662 m ³ /s

Ai fini del calcolo è stato adottato un coefficiente di scabrezza n pari a 0.035 per tutto il tratto.

Quale condizione al contorno di monte si è imposto il moto uniforme in una sezione fittizia posta a 100 metri dall'ultima rilevata nel tratto in esame.

Le verifiche hanno mostrato che il deflusso della portata 50-ennale avviene prevalentemente in corrente veloce con numeri di Froude variabili da 1.1 a 1.8 e velocità mediamente comprese tra 6.5 e 7.9 metri al secondo. Le profondità medie del pelo libero all'interno dell'alveo risultano comprese tra 2.7 m e 4.4 m circa.

Il deflusso della portata 200-ennale e 500-ennale è del tutto analogo al caso precedente con altezze del pelo libero mediamente superiori rispettivamente di circa 1.7 m e circa 3.1 m.

Procedendo da valle verso monte il ponte MAL-57 risulta sormontato dalle tre portate di piena.

I rigurgiti che si propagano verso monte provocano esondazioni su entrambe le sponde già per la portata cinquecentennale con interessamento dei manufatti presenti in sponda destra.

Dalla sezione MAL-57 alla sezione MAL-54 la corrente si mantiene veloce.

Il restringimento provocato dal ponte MAL-54 genera un profilo di rigurgito che, propagandosi verso monte, provoca allagamenti su entrambe le sponde. Unico manufatto interessato dal fenomeno d'esondazione è un campo sportivo, posto in sponda destra a quota + 251 m s.l.m., che viene allagato per la portata cinquecentennale.

Torrente Malvaro, loc. Favale di Malvaro, dalla sezione MAL-58 alla sezione MAL-66

Il tronco d'alveo oggetto di verifica è compreso tra la confluenza con il Fosso d'Arena (MAL-58) e la briglia MAL-66 ubicata a monte della copertura del centro abitato di Favale di Malvaro (nodo 10W dello schema del reticolo idrografico), per una lunghezza complessiva di circa 185 metri.

Il torrente è costituito prevalentemente da ciottoli di medie dimensioni con presenza di depositi e vegetazione.

La pendenza media del tratto è pari allo 1.3 per cento circa.

Il torrente, dopo un primo tratto a cielo libero (da MAL-66 a MAL-63), scorre sotto la piazza del centro abitato e quindi, nuovamente a cielo libero, fino alla sezione MAL-58.

L'alveo di magra ha una forma sostanzialmente rettangolare con larghezze al fondo variabili da 4 a 9.0 metri circa e altezza delle sponde variabile da 2.5 a 6 metri circa.

Lungo l'alveo sono presenti due briglie in c.a. (sezione MAL-60 e MAL-66) ed una copertura (da MAL-62 a MAL 63).

La copertura, ad arco, ha le sezioni d'imbocco e sbocco rispettivamente di luce libera al deflusso della corrente pari a 4 e 9.2 m circa.

Sotto la copertura è presente una trave di calcestruzzo amato posta trasversalmente al deflusso della corrente.

Lungo tutto il tratto sono state individuate una serie di sezioni trasversali in funzione del numero di manufatti d'attraversamento (ponti, passerelle) e delle caratteristiche geometriche e morfologiche dell'alveo.

All'interno del modello di calcolo utilizzato le singole sezioni sono state integrate con una serie di sezioni intermedie, ottenute per interpolazione.

Risultati

Per il tratto (compreso tra MAL-58 e MAL-66) è stata effettuata una verifica idraulica di tipo globale con i tre valori di portata di massima piena cinquantennale, duecentennale e cinquecentennale.

sezione di chiusura di riferimento	10W
Portata cinquantennale	$Q = 87 \text{ m}^3/\text{s}$
Portata duecentennale	$Q = 155 \text{ m}^3/\text{s}$
Portata cinquecentennale	$Q = 225 \text{ m}^3/\text{s}$

Ai fini del calcolo è stato adottato un coefficiente di scabrezza n pari a 0.03.

Quale condizione al contorno di monte si è imposto il moto uniforme in una sezione fittizia posta a 100 metri dall'ultima rilevata nel tratto in esame.

Le verifiche hanno mostrato che il deflusso della portata 50-ennale avviene con numeri di Froude variabili da 0.28 a 3.03 e velocità mediamente comprese tra 1.9 e 10.9 metri al secondo. Le profondità medie del pelo libero all'interno dell'alveo risultano comprese tra 1.6 m e 5.4 m circa.

Il deflusso della portata 200-ennale e 500-ennale è del tutto analogo al caso precedente con altezze del pelo libero mediamente superiori rispettivamente di circa 1.6 m e circa 3.8 m.

La copertura viene sormontata dalla corrente per le portate duecentennale e cinquecentennale.

Il restringimento indotto della copertura provoca l'allagamento della piazza e dei palazzi

prospicienti. L'acqua s'incanala lungo la strada principale e provoca allagamenti anche d'edifici lontani dal manufatto.

***Canale di Isolona dalla confluenza con il Torrente Lavagna (ISO-01)
alla sezione ISO-34 in località Cardinali***

Il tronco d'alveo oggetto di verifica è compreso tra confluenza con il T. Lavagna (ISO-01) ed il ponte carrabile ubicato in località Casa Cardinali (ISO-34), per una lunghezza complessiva di circa 2600 metri.

Il torrente è costituito prevalentemente da substrato roccioso affiorante con vegetazione arbustiva in alveo.

Il tratto presenta un andamento sostanzialmente rettilineo con direzione prevalente SO-NE e sua la pendenza media è pari allo 4.6 per cento circa.

La viabilità principale (S.P. di Orero) si sviluppa in salita in sponda destra per tutto il tratto investigato.

Il tratto risulta scarsamente urbanizzato con isolati agglomerati di case ed insediamenti produttivi ubicati prevalentemente in sponda destra.

L'alveo in sponda sinistra, ad eccezione della zona della confluenza e della località Isolona, è delimitato dal versante naturale.

L'alveo di magra ha una forma sostanzialmente trapezia con larghezze al fondo variabili da 2 a 17.5 metri circa e altezza delle sponde variabile da 1.6 a 8.3 metri circa.

Lungo il tratto sono presenti, da valle verso monte, sei manufatti d'attraversamento: ponte ad arco (ISO-6) della strada statale della Val Fontanabuona, ponte ad arco in località Begorino (ISO-15), ponte ad una campata in località Casa della Signora (ISO-23), passerella pedonale in ferro in località Casa della Signora (ISO-24), ponte ad una campata per l'accesso all'insediamento produttivo ubicato in sponda sinistra in località Isolona (ISO-29), ponte carrabile ad una campata ubicato in località Casa Cardinali (ISO-34).

Lungo tutto il tratto sono state individuate una serie di sezioni trasversali in funzione del numero di manufatti d'attraversamento (ponti, passerelle) e delle caratteristiche geometriche e morfologiche dell'alveo.

All'interno del modello di calcolo utilizzato le singole sezioni sono state integrate con una serie di sezioni intermedie, ottenute per interpolazione.

Risultati

Per il tratto (compreso tra ISO01 e ISO-34) è stata effettuata una verifica idraulica di tipo globale con i tre valori di portata di massima piena cinquantennale, duecentennale e cinquecentennale.

sezione di chiusura di riferimento	1V
Portata cinquantennale	$Q = 140 \text{ m}^3/\text{s}$
Portata duecentennale	$Q = 249 \text{ m}^3/\text{s}$
Portata cinquecentennale	$Q = 361 \text{ m}^3/\text{s}$

Ai fini del calcolo è stato adottato un coefficiente di scabrezza n pari a 0.035 per tutto il tratto.

Quale condizione al contorno di monte si è imposto il moto uniforme in una sezione fittizia posta a 100 metri dall'ultima rilevata nel tratto in esame.

Le verifiche hanno mostrato che il deflusso della portata 50-ennale avviene in

prevalentemente in corrente veloce con numeri di Froude variabili da 0.2 a 3.5 e velocità mediamente comprese tra 1.3 e 12.3 metri al secondo. Le profondità medie del pelo libero all'interno dell'alveo risultano comprese tra 1.0 m e 6.7 m circa.

Il deflusso della portata 200-ennale e 500-ennale è del tutto analogo al caso precedente con altezze del pelo libero mediamente superiori rispettivamente di circa 1.3 m e circa 2.3 m.

Procedendo da monte verso valle, i ponti ad una campata ISO-34 ed ISO-29 risultano sormontati dalle tre le portate di piena.

I rigurgiti che si propagano verso monte provocano esondazioni su entrambe le sponde già per la portata cinquantennale.

L'acqua che fuoriesce dagli argini s'incanala sulla strada provinciale per Orero, che si sviluppa in discesa sulla sponda destra, e provoca allagamenti delle case poste a valle del ponte al di sopra ed al di sotto del piano stradale.

A valle della sezione ISO-22 l'alveo è localmente inadeguato al transito della portata duecentennale e cinquecentennale (da ISO-22 ad ISO-20).

La portata duecentennale e cinquecentennale sormontano il ponte ISO-15 e il rigurgito che si propaga verso monte provoca esondazioni su entrambe le sponde con allagamento dell'insediamento produttivo ubicato in adiacenza all'alveo in sponda destra.

Il ponte ISO-6 (ponte della strada della Val Fontanabuona) risulta sufficiente per il transito delle tre portate di calcolo.

A valle del ponte si hanno fenomeni d'esondazione già per la portata cinquantennale. I manufatti presenti in sponda destra sono interessati da allagamenti per le sole portate duecentennale e cinquecentennale.

Per quanto riguarda i sei ponti presenti lungo il tratto va segnalato che i ponti ISO-15, ISO-29 e ISO-34 sono insufficienti per la portata 50-ennale, i ponti ISO-23, ISO-24 e ISO-6 sono sufficienti per le tre portate di piena.

Torrente Litteglia dalla confluenza con il Torrente Lavagna (LIT 01) alla sezione LIT- 12

Il tronco d'alveo oggetto di verifica è compreso tra confluenza con il T. Lavagna (LIT-1) e la sezione ubicata in località Fontanino (LIT-12), per una lunghezza complessiva di circa 600 metri.

Il torrente è costituito prevalentemente da substrato roccioso affiorante con vegetazione arbustiva e arborea in alveo.

Il tratto presenta un andamento sostanzialmente rettilineo con direzione prevalente NE-SO e la sua pendenza media è pari allo 3.7 per cento circa.

La viabilità principale (Strada Provinciale n.22 di Tribogna) si sviluppa in sponda sinistra per tutto il tratto investigato.

Lungo il tratto investigato sono presenti alcuni insediamenti produttivi ubicati in sponda destra tra le sezioni LIT-1 e LIT-3 ed in sponda sinistra nel rimanente tratto.

L'alveo in sponda destra, fatta eccezione per la zona della confluenza, è delimitato dal versante naturale.

L'alveo di magra ha una forma sostanzialmente trapezia con larghezze al fondo variabili da 2.2 a 11.5 metri circa.

Lungo il tratto investigato sono presenti un ponte carrabile (LIT-3) a campata unica ed un ponte ad arco in evidente stato d'abbandono (LIT-4).

Lungo tutto il tratto sono state individuate una serie di sezioni trasversali in funzione del numero di manufatti d'attraversamento (ponti, passerelle) e delle caratteristiche

geometriche e morfologiche dell'alveo.

All'interno del modello di calcolo utilizzato le singole sezioni sono state integrate con una serie di sezioni intermedie, ottenute per interpolazione.

Risultati

Per il tratto (compreso tra LIT-1 e LIT-12) è stata eseguita una verifica idraulica di tipo globale con i tre valori di portata di massima piena cinquantennale, duecentennale e cinquecentennale.

sezione di chiusura di riferimento 1H	
Portata cinquantennale	Q = 65 m ³ /s
Portata duecentennale	Q = 117 m ³ /s
Portata cinquecentennale	Q = 170 m ³ /s

Ai fini del calcolo è stato adottato un coefficiente di scabrezza n pari a 0.035 per tutto il tratto.

Quale condizione al contorno di monte si è imposto il moto uniforme in una sezione fittizia posta a 100 metri dall'ultima rilevata nel tratto in esame.

Le verifiche hanno mostrato che il deflusso della portata 50-ennale avviene in corrente prevalentemente veloce tra le sezioni LIT-12 e LIT-5, con numeri di Froude variabili da 1.19 a 1.82 e velocità mediamente comprese tra 3.84 e 5.64 metri al secondo, ed in corrente prevalentemente lenta tra le sezioni LIT-4 e LIT-1, con numeri di Froude variabili da 0.23 a 0.77 e velocità mediamente comprese tra 1.57 e 4.06 metri al secondo. Le profondità medie del pelo libero all'interno dell'alveo sono comprese tra 1.6 m e 4.6 m circa.

Il deflusso della portata 200-ennale e 500-ennale è del tutto analogo al caso precedente con altezze del pelo libero mediamente superiori rispettivamente di circa 1.2 m e circa 2.2 m.

Il ponte ad una campata (LIT-3) è adeguato al transito delle tre portate di piena, mentre il ponte pedonale ad arco (LIT-4) risulta sufficiente per solo la portata cinquecentennale.

Lungo il tratto in oggetto si verificano esondazioni localizzate nella zona della confluenza (in sponda sinistra) ed in corrispondenza del ponte LIT-4 (su entrambe le sponde) per la sola portata cinquecentennale.

Torrente Neirone dalla confluenza con il Torrente Lavagna (sezione NE-01) alla sezione NE-16 in località Isola

Il tronco d'alveo oggetto di verifica è compreso tra confluenza con il T. Lavagna (NE-01) e la sezione NE-15 ubicata a monte del ponte carrabile ubicato in località Isola (nodo 1Z dello schema del reticolo idrografico), per una lunghezza complessiva di circa 600 metri.

Il torrente è costituito prevalentemente da rocce con vegetazione arbustiva in alveo.

Il tratto presenta è costituito da due anse a gomito con direzione SO-NE e SE-NE e sua la pendenza media è pari allo 1.6 per cento circa.

La viabilità principale (S.P. n.21) si sviluppa in sponda sinistra a quota superiore ai massimi livelli di piena.

Il tratto risulta urbanizzato su entrambe le sponde.

L'alveo di magra ha una forma sostanzialmente trapezia con larghezze al fondo variabili da 10 a 26 metri circa e altezza delle sponde variabile da 2.3 a 10.8 metri circa.

Lungo il tratto sono presenti, da valle verso monte, tre manufatti d'attraversamento: ponte ad arco (NE-3) della strada statale della Val Fontanabuona, passerella pedonale ad una

campata (NE-8), ponte ad una campata in località Isola (NE-14).

Lungo tutto il tratto sono state individuate una serie di sezioni trasversali in funzione del numero di manufatti d'attraversamento (ponti, passerelle) e delle caratteristiche geometriche e morfologiche dell'alveo.

All'interno del modello di calcolo utilizzato le singole sezioni sono state integrate con una serie di sezioni intermedie, ottenute per interpolazione.

Risultati

Per il tratto (compreso tra NE-1 e NE-15) è stata effettuata una verifica idraulica di tipo globale con i tre valori di portata di massima piena cinquantennale, duecentennale e cinquecentennale.

sezione di chiusura di riferimento 1Z	
Portata cinquantennale	$Q = 244 \text{ m}^3/\text{s}$
Portata duecentennale	$Q = 434 \text{ m}^3/\text{s}$
Portata cinquecentennale	$Q = 630 \text{ m}^3/\text{s}$

Ai fini del calcolo è stato adottato un coefficiente di scabrezza n pari a 0.035 per tutto il tratto.

Quale condizione al contorno di monte si è imposto il moto uniforme in una sezione fittizia posta a 100 metri dall'ultima rilevata nel tratto in esame.

Le verifiche hanno mostrato che il deflusso della portata 50-ennale avviene con alternanza di correnti lente e veloci con numeri di Froude variabili da 0.30 a 1.9 e velocità mediamente comprese tra 2.1 e 7.5 metri al secondo. Le profondità medie del pelo libero all'interno dell'alveo risultano comprese tra 1.9 m e 5.9 m circa.

Il deflusso della portata 200-ennale e 500-ennale è del tutto analogo al caso precedente con altezze del pelo libero mediamente superiori rispettivamente di circa 1.5 m e circa 3 m.

Procedendo da monte verso valle, il ponte ad una campata (NE-14) risulta sufficiente al transito della sola portata cinquantennale.

I rigurgiti che si propagano verso monte provocano esondazioni su entrambe le sponde e già per la portata duecentennale sono interessate le abitazioni e le serre presenti in sponda destra.

A valle del ponte l'altezza del pelo libero sovrasta localmente gli argini in sponda destra provocando allagamenti della piana.

La passerella pedonale (NE-8) ad una campata è adeguata al transito delle portate di piena cinquantennale e duecentennale.

Sotto il ponte (NE-3) la portata cinquecentennale transita con un franco ridotto di 50 cm.

Nel tratto a valle del ponte gli argini sono insufficienti a contenere le tre portate di piena con fenomeni d'allagamento su entrambe le sponde già per la portata cinquantennale.

Rio della Fontana dalla S.P. della Fontanabuona alla sezione FO-27 in corrispondenza della parrocchia della ss.Trinità di Aveggio.

Il tronco d'alveo oggetto di verifica è compreso tra la SP della Fontanabuona (FO-1) e la sezione FO-27 ubicata a monte parrocchia della ss.Trinità di Aveggio, per una lunghezza complessiva di circa 110 metri.

Il torrente è costituito prevalentemente da rocce con vegetazione arbustiva in alveo.

L'alveo di magra ha una forma sostanzialmente trapezia con larghezze al fondo variabili da

2.5 a 0.8 metri circa.

Lungo tutto il tratto sono state individuate una serie di sezioni trasversali in funzione del numero di manufatti d'attraversamento (ponti, passerelle) e delle caratteristiche geometriche e morfologiche dell'alveo.

Risultati

Per il tratto (compreso tra FO-1 e FO-27) è stata effettuata una verifica idraulica di tipo globale con i tre valori di portata di massima piena cinquantennale, duecentennale e cinquecentennale ricavati applicando il metodo CIMA per bacini di aventi area inferiore a 2 km².

Portata cinquantennale	Q = 3.3 m ³ /s
Portata duecentennale	Q = 4.8 m ³ /s
Portata cinquecentennale	Q = 5.7 m ³ /s

Tali valori sono stati ottenuti sotto l'ipotesi di area drenata pari a 0.2 km² e bacino caratterizzato da basso grado di urbanizzazione (CN pari a 75 – classe C del metodo CIMA). Ai fini del calcolo è stato adottato un coefficiente di scabrezza n pari a 0.035 per tutto il tratto.

Quali condizioni al contorno di valle e di monte si sono assunte le condizioni critiche.

Le verifiche hanno mostrato che il deflusso delle tre portate avviene prevalentemente in corrente veloce pressoché in tutto il percorso, fatta eccezione per un breve tratto, tra le sezioni FO-20 e FO-22, a monte del salto, in cui presenta caratteristiche di corrente lenta.

Per la portata 50-ennale i numeri di Froude sono compresi tra 0.17 a 3.84 e velocità mediamente comprese tra 0.7 e 6.6 metri al secondo. Le profondità medie del pelo libero all'interno dell'alveo risultano comprese tra 0.37 m e 1.74 m circa.

Il deflusso della portata 200-ennale e 500-ennale è del tutto analogo al caso precedente con altezze del pelo libero mediamente superiori rispettivamente di circa 0.14 m e circa 0.22 m.

Il deflusso delle tre portate di piena, tra le sezioni FO-26 e FO-6, risulta contenuto all'interno degli argini, costituiti in sponda destra dalla scarpata naturale ed in sponda sinistra dai locali della parrocchia della ss. Trinità di Aveggio. A valle della sezione FO-06 il piazzale, ubicato in sponda sinistra, è inondabile già per la portata 50-ennale.

La tombinatura (FO-PT01) risulta inadeguata al transito delle tre portate di piena.

Confluenza tra il T. Lavagna, T. Entella e Sturla

La confluenza tra il T. Lavagna ed i torrenti Entella e Sturla è stata analizzata nelle due seguenti configurazioni:

- T. Lavagna e T. Entella in piena e portate sul T. Sturla calcolate come differenza tra i valori di picco sui T. Lavagna ed Entella ;
- T. Sturla in piena e portate sul T. Lavagna, a monte della confluenza, calcolate come differenza tra i valori di picco sul T. Entella e sul T. Sturla.

La tabella seguente riassume le portate di calcolo.

	Configurazione 1				Configurazione 2			
		T = 50 anni	T = 200 anni	T = 500 anni		T = 50 anni	T = 200 anni	T = 500 anni
Lavagna	1A	920	1614	2360	diff	833	1461	2114
Entella	EE6	1307	2300	3337	EE6	1307	2300	3337

Sturla	diff	387	686	977	St1	474	839	1223
--------	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------

Confluenza tra il T. Lavagna e il Canale di Isolona

La confluenza tra il T. Lavagna ed il Canale di Isolona è stata analizzata nelle due seguenti configurazioni:

- T. Lavagna in piena e portate sul C. di Isolona calcolate come differenza tra i valori di picco sul T. Lavagna a monte e a valle della confluenza ;
- C. di Isolona in piena e portate sul T. Lavagna a monte della confluenza calcolate come differenza tra i valori di picco sul T. Lavagna a valle e sul C. di Isolona.

La tabella seguente riassume le portate di calcolo.

	Configurazione 1				Configurazione 2			
		T = 50 anni	T = 200 anni	T = 500 anni		T = 50 anni	T = 200 anni	T = 500 anni
Lavagna M	23A	772	1360	1974	diff	662	1162	1687
Lavagna V	21A	802	1411	2048	21A	802	1411	2048
Isolona	diff	30	51	74	1V	140	249	361

La mappatura della zona della confluenza deriva dai livelli più punitivi che si realizzano nelle due configurazioni.

Confluenza tra il T. Lavagna e il T. Malvaro

La confluenza tra il T. Lavagna ed il T. Malvaro è stata analizzata nelle due seguenti configurazioni:

- T. Lavagna in piena e portate sul T. Malvaro calcolate come differenza tra i valori di picco sul T. Lavagna a monte e a valle della confluenza;
- T. Malvaro in piena e portate sul T. Lavagna a monte della confluenza calcolate come differenza tra i valori di picco sul T. Lavagna a valle e sul T. Malvaro

La tabella seguente riassume le portate di calcolo.

	Configurazione 1				Configurazione 2			
		T = 50 anni	T = 200 anni	T = 500 anni		T = 50 anni	T = 200 anni	T = 500 anni
Lavagna M	27A	667	1175	1706	diff	396	696	1011
Lavagna V	25A	766	1350	1960	25A	766	1350	1960
Malvaro	diff	99	175	254	1W	370	654	949

La mappatura della zona della confluenza deriva dai livelli più punitivi che si realizzano nelle due configurazioni.

Confluenza tra il T. Lavagna e il T. Litteglia

La confluenza tra il T. Lavagna ed il T. Litteglia è stata analizzata nelle due seguenti configurazioni:

- T. Lavagna in piena e portate sul T. Litteglia calcolate come differenza tra i valori di picco sul T. Lavagna a monte e a valle della confluenza ;
- T. Litteglia in piena e portate sul T. Lavagna a monte della confluenza calcolate come differenza tra i valori di picco sul T. Lavagna a valle e sul T. Litteglia

La tabella seguente riassume le portate di calcolo.

	Configurazione 1				Configurazione 2			
		T = 50 anni	T = 200 anni	T = 500 anni		T = 50 anni	T = 200 anni	T = 500 anni
Lavagna M	37A	600	1057	1534	diff	545	958	1391
Lavagna V	35A	610	1075	1561	35A	610	1075	1561
Litteglia	diff	10	18	27	1H	65	117	170

La mappatura della zona della confluenza deriva dai livelli più punitivi che si realizzano nelle due configurazioni.

Confluenza tra il T. Lavagna e il T. Neirone

La confluenza tra il T. Lavagna ed il T. Neirone è stata analizzata nelle due seguenti configurazioni:

- T. Lavagna in piena e portate sul T. Neirone calcolate come differenza tra i valori di picco sul T. Lavagna a monte e a valle della confluenza ;
- T. Neirone in piena e portate sul T. Lavagna a monte della confluenza calcolate come differenza tra i valori di picco sul T. Lavagna a valle e sul T. Neirone

La tabella seguente riassume le portate di calcolo.

	Configurazione 1				Configurazione 2			
		T = 50 anni	T = 200 anni	T = 500 anni		T = 50 anni	T = 200 anni	T = 500 anni
Lavagna M	41A	457	804	1167	diff	338	593	861
Lavagna V	38A	582	1027	1491	38A	582	1027	1491
Neirone	diff	125	223	324	1Z	244	434	630

La mappatura della zona della confluenza deriva dai livelli più punitivi che si realizzano nelle due configurazioni.

VERIFICHE PUNTUALI

Le verifiche idrauliche hanno riguardato i manufatti di attraversamento del Torrente Lavagna nel tratto montano e dei suoi affluenti Torrente Malvaro, Torrente Neirone, Canale di Isolona, Rio d'Urri, Rio Lumarzo e Rio Ferriere, per un totale di 17 sezioni.

Per ciascuna sezione, è stata effettuata una verifica idraulica di tipo puntuale con i valori di portata di massima piena per i consueti tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

Ai fini della determinazione della criticità idraulica di ciascun manufatto si è assunto il franco di sicurezza minimo di un metro tra la quota del pelo libero e la quota di intradosso dell'impalcato.

I risultati delle verifiche sono riportati per ciascun manufatto nelle tabelle in allegato "Schede di verifica idraulica di tipo puntuale", nelle quali, oltre ai parametri geometrici e idraulici della sezione, è indicato il codice di riferimento dell'opera, il bacino e il sottobacino di appartenenza e la sezione idraulica di riferimento; inoltre l'esito della verifica viene riportato sulla carta delle fasce di inondabilità.

3.3.3 Fascia di riassetto fluviale

Tale fascia, ai sensi dei criteri ex DGR 357/01, ricomprende le aree esterne all'alveo attuale necessarie per l'adeguamento del corso d'acqua all'assetto definitivo previsto dal Piano, ivi incluse, oltre alle aree necessarie al ripristino della idonee sezioni di deflusso, le forme riattivabili in condizioni di piena e le aree di pertinenza fluviale e/o di elevato pregio naturalistico ambientale limitrofe al corso d'acqua, ricercando il massimo equilibrio tra la difesa degli elementi a rischio esistenti, di entità significativa e non delocalizzabili, ed il mantenimento di zone di pertinenza fluviale.

Nel caso specifico, il disegno della fascia di riassetto del torrente Lavagna, trae origine dalle risultanze degli studi ed approfondimenti già a suo tempo effettuati nel quadro dell'accordo di pianificazione denominato "Sistema Lavagna", dove è stata individuata un'apposita fascia, denominata "corridoio ecologico fluviale", che comprende, oltre alle aree necessarie alla realizzazione degli interventi di mitigazione del rischio idraulico, anche quelle aree individuate di pertinenza fluviale sotto l'aspetto naturalistico ed ecologico.

Tali indicazioni sono state opportunamente integrate con i risultati dello studio idraulico di dettaglio e riviste sulla base delle osservazioni presentate da alcuni Comuni al fine di addivenire all'attuale perimetrazione della fascia di riassetto.

3.4 Considerazioni sul trasporto solido

Per quanto concerne il **trasporto solido**, data la mancanza di stazioni di misura e di dati da letteratura o relazioni tecniche, possono essere solo avanzate considerazioni di tipo qualitativo con riferimento agli elementi ed alle fenomenologie di versante e di fondovalle che influenzano il trasporto solido delle aste torrentizie. In altri termini è possibile definire una suscettività al trasporto di massa delle aste torrentizie.

In particolare, gli elementi che influenzano il trasporto solido sono identificabili in:

-  *litologia, condizioni tettoniche e strutturale delle formazioni geologiche che costituiscono il substrato delle zone elevate dei versanti interessate dalla fase erosiva dei corsi d'acqua. A questo riguardo va notato che pur essendo il bacino, per la maggior parte, caratterizzato da formazioni scisto-argillosi, alle quote elevate dei versanti sono presenti formazioni calcareo-marnosi (Calcari di Monte Antola), calcareo-arenaceo (Ronco) ed arenacee (Arenarie di Monte Gottero). L'erosione di queste formazioni fa sì che le acque veicolino verso valle materiale con elevato tenore grossolano. Nelle sezioni medie interessate da litologie scisto-argillose, il trasporto solido si arricchirà di una componente più fine;*
-  *presenza di coltri detritiche (paleofrane, detrito di falda, terrazzamenti) e relativa litologia e granulometria. L'erosione da parte delle acque di questi corpi comporta un contributo al trasporto solido che va dai termini argillosi a quelli ghiaiosi fino a blocchi e massi;*
-  *presenza di frane attive e quiescenti, che possono comportare improvvisi carichi ingenti di materiale detritico.*
-  *presenza di discariche*

Le fenomenologie di versante e di fondovalle, che per la loro dinamica nel tempo

influenzano il trasporto, possono essere individuati in:

- + *evoluzione del profilo di equilibrio dei corsi d'acqua con riferimento alla maturità delle diverse zone vallive e al processo generale di ringiovanimento della valle (in questo caso le zone interessate dalle fasi di erosione e sedimentazione possono mutare nel tempo);*
- + *fenomeni di erosione sponale, con un arricchimento del trasporto solido delle acque di materiale alluvionale tendenzialmente classato e con un marcato grado di arrotondamento dei clasti;*
- + *uso del suolo: le modificazioni antropiche dello stato delle coperture (ad esempio da bosco a coltivato) hanno risvolti importanti sul tipo di materiale convogliato dalle acque.*

Da queste indicazioni, tenuto conto che i principali corsi d'acqua dall'origine ai fondovalle, attraversano formazioni geologiche diverse ed interessano coltri detritiche diverse, dalle numerose paleofrane e coperture mappate ai terrazzamenti alluvionali, appare evidente che il trasporto solido, se litologicamente si mantiene nei termini argillitico, calcareo ed arenaceo, presenti diagrammi granulometrici quanto mai differenziati.

La differenziazione riguarda anche il versante destro meno esteso e meno 'antropizzato' ed il sinistro assai più sviluppato e con estensione notevole talora concentrata di corpi idrici.

Da un punto di vista generale il trasporto solido di un corso d'acqua avviene in tre forme. In soluzione sono trasportate le sostanze dissociate in ioni. L'argilla ed il limo sono trasportati in sospensione, vale a dire sostenuti nell'acqua da movimenti turbolenti della corrente che porta verso l'alto i materiali fini e finissimi presenti nel corso d'acqua (trasporto in sospensione o trasporto torbido). Questa frazione di materiali trasportati è denominata carico solido in sospensione. Le sabbie, le ghiaie, ed anche i frammenti rocciosi più grandi si spostano direttamente sul fondo dell'alveo per rotolamento, slittamento o trascinamento e saltazione, costituendo il carico solido di fondo.

E' evidente che la possibilità di disporre di dati relativi al trasporto solido totale porterebbe ad una valutazione dell'entità dei processi erosivi più aderente alla situazione reale, in mancanza di tali dati è comunque possibile applicare una formula di tipo empirico sperimentata da alcuni Autori (Cicacci ed al., 1980) che può esprimere una valutazione di larga massima dal punto di vista quantitativo.

Questa formula, che determina il parametro Deflusso Torbido Unitario (Tu), è stata sperimentata su 14 bacini idrografici italiani, che costituiscono un campione limitato ma sufficientemente rappresentativo delle condizioni fisiografiche della nostra penisola.

Poiché la percentuale del materiale trasportato in sospensione è molto alta (circa il 90 % alle nostre latitudini) rispetto a quella del materiale trascinato sul fondo e non avendo misurazioni o dati sul trasporto in soluzione e di fondo, la formula utilizzata, che prende in considerazione soltanto il trasporto torbido o in sospensione, appare adeguata.

Utilizzando questa formula è possibile risalire all'entità del trasporto solido attraverso una valutazione quantitativa delle grandezze geomorfiche del bacino.

Il valore del trasporto solido di un bacino è espresso tramite il logaritmo del Deflusso Torbido Unitario Medio Annuo, trasporto unitario Tu (tonnellate per chilometro quadrato per anno). Questa grandezza può fornire indicazioni sul grado d'erodibilità delle rocce affioranti ed è un valore riferito all'unità di superficie, vale a dire indipendente dall'ampiezza totale del bacino.

$$\log Tu = 0.33479 D + 0.15733 Da + 1.32888$$

In questa formula compaiono le grandezze D (densità di drenaggio) e Da (indice di anomalia gerarchica).

L'Indice di Anomalia Gerarchica Da esprime il rapporto tra il numero di anomalia gerarchica (Ga) ed il numero di segmenti di primo ordine (N1) presenti nel reticolo.

A sua volta il Numero di Anomalia Gerarchica Ga esprime il numero minimo di segmenti di primo ordine potenzialmente necessari a far diventare il reticolo perfettamente gerarchizzato.

I suddetti parametri hanno, per il bacino in questione, i seguenti valori:

$$N1 = 1990 \quad Ga = 806 \quad Da = 0.4$$

Il valore del trasporto solido unitario così calcolato risulta pari a

$$Tu = 1257 \text{ t/(km anno)}.$$

Dalla superficie totale del bacino, si escludono le aree urbanizzate (circa 6.3 km²) che non contribuiscono a fornire materiale erodibile che incrementerebbe il trasporto solido.

Assumendo un peso specifico medio per il materiale trasportato di 2.5 t/m³ si ottengono in prima approssimazione i seguenti valori di massa e volume:

$$T_{tot} = 195.181 \text{ t/anno} \quad V_{tot} = 78.072 \text{ m}^3/\text{anno}$$

4 RISCHIO IDROGEOLOGICO

4.1 Premessa

Appare evidente come le problematiche del bacino siano fortemente interconnesse tra loro, in quanto la somma dei fattori naturali ed artificiali di degrado ambientale comporta una diminuzione complessiva del grado di fruibilità del territorio con conseguente riduzione dei fattori di sicurezza.

In merito alle specifiche aree a rischio, si possono riassumere i seguenti dati salienti:

- ✚ condizioni di esondazione del tratto terminale del torr. Lavagna con rischio alto di invasione delle aree golenali, in quanto tale tratto presenta insufficienza dell'alveo di morbida a contenere gli eventi di piena;
- ✚ condizioni d'esondazione alle confluenze con il T. Malvaro, Neirone e Canale d'Isolona, con rischio alto e medio alto per gli insediamenti produttivi e le abitazioni presenti sulle sponde;
- ✚ presenza di case d'argine, in comune di Cicaqna, con rischio alto d'allagamento per la presenza di aperture incompatibili con i livelli di piena;
- ✚ Condizioni d'esondazione a valle della confluenza con il T. Litteglia, con rischio alto per gli insediamenti produttivi presenti in sponda destra;
- ✚ presenza di una fascia in località Pezzonasca, con rischio alto di inondazione di aree industriali non utilizzate ed in evoluzione naturale;
- ✚ condizioni d'esondazione in località Bassi, con rischio alto per le abitazioni presenti in sponda destra;
- ✚ condizioni d'esondazione in loc. Acqua di Ognio, con rischio medio alto per gli insediamenti produttivi in sponda sinistra;
- ✚ condizioni d'esondazione lungo l'asta del T. Malvaro, con rischio alto e medio per i fabbricati presenti sulle sponde, causato dalla presenza di manufatti di attraversamento. I casi di maggior rilievo sono ubicati in loc. Favale di Malvaro, loc. Ortigaro, loc. Castagnelo, loc. Acqua di Sopra, loc. Scoglio e nella zona della confluenza con il T. Lavagna.
- ✚ condizioni d'esondazione lungo l'asta del Canale Isolona, con rischio alto per i fabbricati presenti sulle sponde, causato dalla presenza di manufatti di attraversamento. I casi di maggior rilievo sono ubicati in loc. Cardinali, loc. Isolona e loc. Serbatoio.
- ✚ fenomeni erosivi per erosione incanalata di fondo o ruscellamento superficiale che si identificano principalmente alla testata valliva del torrente Sestri affluente del torrente Neirone; alle pendici sud del Monte Caucaso; alle testate delle valli del rio Ferriere, del rio di Vallebuona e del fosso d'Arena, affluente del torrente Malvaro;
- ✚ condizioni di stabilità del versante lungo la valle del camposasco. Dove si sono verificati vari fenomeni gravitativi di scivolamento della coltre detritica che ricopre il substrato argillitico in rapporto di franapoggio, in condizioni di imbibizione e di saturazione;
- ✚ erosione spondale che interessa strade o aree edificate limitrofe, come il fenomeno erosivo in atto sulle sponde dell'attuale alveo del torrente Lavagna in località Scaruglia;
- ✚ scarsa manutenzione delle strade secondarie e delle opere idrauliche ed idrogeologiche connesse hanno provocato frane di scoscendimento e tra queste si

possono citare le due frane di scoscendimento lungo la strada per Dezerega e in località Cornia di Moconesi, le due frane in località Motta lungo la strada per Scagnelli in comune di Lumarzo;

4.2 Elementi a rischio

Gli elementi a rischio sono rappresentati dalla popolazione, dalle abitazioni, dalle attività economiche e dai beni culturali che possono subire danni in conseguenza del verificarsi del fenomeno franoso o idraulico, pertanto per l'individuazione delle classi, ci si è basati sull'analisi della carta dell'uso del suolo, ottenendo quattro classi:

Classe Elementi a Rischio	Codici Uso del Suolo	Descrizioni
E0	2.3 – 2.5 – 3.1 – 3.2 – 3.3 – 3.4.2 – 5.1.1	Prati e pascoli – Ex coltivi – Praterie – Zone boscate – Zone caratterizzate da vegetazione arbustiva – Rocce nude –
E1	1.4.1 – 1.4.2 – 2.1.1 – 2.1.2.1 – 2.2.1 – 2.2.2 – 2.2.3 – 2.4	Aree verdi urbane – Aree sportive e ricreative – Seminativi in aree non irrigue – Seminativi, vivai, ecc. in piena aria – Vigneti – Frutteti – Oliveti – Zone agricole eterogenee
E2	1.1.2 – 1.3.1	Tessuto urbano discontinuo – Aree estrattive
E3	1.1.1 – 1.2.1 – 1.2.2 – 1.3.1 – 1.3.2	Tessuto urbano continuo – Aree industriali o commerciali – Reti autostradali, ferroviarie e spazi accessori – Aree estrattive – Discariche

4.3 Determinazione del rischio idrogeologico

Nell'ambito della pianificazione di bacino, è prevista la determinazione del grado di rischio idrogeologico, inteso come rischio di inondazione, o idraulico, e rischio geomorfologico o geologico. La carta del rischio deriva dalla sovrapposizione tra la pericolosità idraulica o geomorfologica e gli elementi a rischio, derivanti dall'analisi dell'uso del suolo, (rispettivamente, rischio idraulico e geologico). Si ottengono, così, cinque classi di rischio, di cui la classe R0, permette di estrarre le situazioni a rischio minore in ragione di pericolosità estremamente basse o di completa assenza di valenze socio-economiche:

R0 = rischio lieve o trascurabile

R1 = rischio moderato

R2 = rischio medio

R3 = rischio elevato

R4 = rischio molto elevato

4.3.1 Rischio geomorfologico

I diversi gradi di rischio di carattere geomorfologico, sono stati determinati attraverso matrici nelle quali vengono posti in relazione le classi di suscettività con le classi degli elementi a rischio così come desunte dalla Carta dell'uso del suolo. La conoscenza del rischio geomorfologico ha perciò, come finalità principale, l'evidenziazione delle situazioni di maggior criticità che possono produrre danno all'uomo e/o ai suoi beni.

Il rischio geomorfologico è stato affrontato ponendo a confronto gli elementi a rischio con le aree del bacino caratterizzate da una certa suscettività al dissesto dei versanti.

Si tratta tuttavia di un approccio differente rispetto a quello adottato per il rischio idraulico per vari aspetti. Si consideri per esempio che le classi di suscettività al dissesto di versante non possono essere determinate in termini di tempi di ritorno di un evento, ma esclusivamente come probabilità che un dato evento si verifichi in un'area per la presenza di uno o più fattore innescanti. Per questo motivo, a differenza di quanto avviene per le fasce di inondabilità, le aree a minore suscettività geomorfologica sono aree del bacino in cui si prevede che il dissesto abbia la minore possibilità di scatenarsi, spesso a prescindere dalla dimensione del fenomeno e quasi sempre a fronte di assoluta indeterminatezza temporale. Inoltre il verificarsi di un evento franoso in un'area a media suscettività non implica automaticamente che se ne verifichino altri nelle zone a maggior suscettività.

Con le precisazioni e considerazioni appena esposte la carta della suscettività individua quattro classi di suscettività al dissesto dei versanti più una classe aggiuntiva rappresentata dalle aree di frana attiva. In queste aree il dissesto è in atto e quindi si può parlare di pericolosità conclamata, mentre le altre classi si riferiscono ad aree a crescente potenzialità stimata al dissesto.

Per la determinazione del rischio geomorfologico si è fatto riferimento alla seguente matrice:

Elementi a rischio	Suscettività al dissesto dei versanti				
	P0 Suscettività molto bassa	P1 Suscettività bassa	P2 Suscettività media	P3 Suscettività elevata	P4 Suscettività molto elevata
E0	R0	R0	R0	R1	R1
E1	R0	R1	R1	R2	R3
E2	R0	R1	R2	R3	R4
E3	R0	R1	R2	R4	R4

Rispetto al livello di conoscenza attuale la carta del rischio costituisce uno strumento di supporto decisionale che consente di visualizzare in modo più circostanziato ed in termini maggiormente codificati le criticità messe in luce dal complesso degli studi geologici e geomorfologici ed in particolare dalla carta geomorfologica, dalla carta della franosità reale e dalla carta della suscettività al dissesto, anche se per una lettura complessiva delle criticità appare utile ribadire la necessità di una consultazione incrociata tra la carta del rischio e la carta della suscettività al dissesto.

4.3.2 Rischio idraulico

Il rischio idraulico è stato valutato sulla base dell'incrocio della carta degli elementi a rischio con la carta delle fasce fluviali, secondo la matrice seguente:

Elementi a rischio	Fasce fluviali		
	200<T<500 fascia C	50<T<200 fascia B	T<50 fascia A
E0	R0	R1	R1
E1	R1	R2	R3
E2	R2	R3	R4
E3	R2	R4	R4