1. PREMESSE

Il Comune di Serino ha avviato il processo di formazione del Piano Urbanistico Comunale (P.U.C.), in accordo con le disposizioni contenute nella Legge Regionale n. 16/2004 "Norme sul governo del territorio" e nella Deliberazione n. 834, pubblicata nel BURC n. 33 del 18/06/2007, relativa alle norme tecniche e direttive riguardanti gli elaborati da allegare agli strumenti di pianificazione territoriale.

Con specifico riferimento alla costruzione del quadro conoscitivo finalizzato alla formazione del P.U.C. e alla redazione della Valutazione Ambientale Strategica (V.A.S.), l'Amministrazione Comunale di Serino ha affidato allo scrivente, prof. ing. Nunzio Romano, ordinario di Idraulica Agraria e Sistemazioni Idraulico-Forestali dell'Università degli Studi di Napoli *Federico II*, l'incarico di identificare le situazioni di pericolosità e rischio idraulico nel territorio di interesse.

Il Comune di Serino è compreso nel territorio di pertinenza dell'Autorità di Bacino Nazionale dei Fiumi Liri-Garigliano e Volturno (identificata nel seguito con l'acronimo AdB-LGV). Il Piano di Bacino rappresenta lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico operativo con cui si attuano gli obiettivi della Legge n. 183 del 18/05/1989, consentendo di pianificare e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo e alla corretta utilizzazione delle acque, in base alle locali caratteristiche fisiche e ambientali del territorio.

Alla data di chiusura delle presente relazione, l'AdB-LGV ha adottato solo il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico relativo al Rischio di Frana (PSAI-Rf), quale stralcio del Piano di bacino contenente la individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico, le norme di attuazione, le aree da sottoporre a misure di salvaguardia e le relative misure.

Per il territorio di competenza, invece, non risulta ancora adottato il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico relativo al Rischio Idraulico (PSAI-Ri), anche se le relative indagini ed elaborazioni sono in uno stadio molto avanzato di completamento; esso é diretto al conseguimento di condizioni accettabili di sicurezza idraulica del territorio mediante la programmazione degli interventi non strutturali, che comprendono norme sulla regolamentazione del territorio inondabile dalle acque, indirizzi sul cambio di destinazione d'uso del suolo e interventi di ripristino e recupero ambientale, atti a mitigare i danni conseguenti all'evento calamitoso, nonché interventi strutturali atti a ridurre le pericolosità delle inondazioni. E' tuttavia ormai ampiamente riconosciuto che una razionale protezione idraulica del territorio non può essere vista disgiunta da una idonea tutela ambientale ed entrambe vanno affrontate adoperando idonee analisi economiche e appropriati strumenti tecnico-scientifici.

Pertanto, le ricerche e gli studi di tipo idrologico e idraulico riportati in questa relazione sono stati condotti per il conseguimento dei seguenti principali obiettivi:

- ✓ confrontare i risultati conseguiti con le previsioni del piano alluvioni di AdB-LGV;
- ✓ trasferire tutte le informazioni raccolte e, in particolare, le elaborazioni circa il rischio alluvione al Rapporto Ambientale della V.A.S.;
- ✓ dotare il P.U.C. della necessaria documentazione tecnica per rendere congruenti le scelte urbanistiche con le caratteristiche idrauliche del territorio comunale.

2. DESCRIZIONE DEL BACINO IDROGRAFICO

2.1. Inquadramento generale dell'area

Il Fiume Sabato ha origine dal massiccio dell'Accellica, ai piedi del Varco Colla Finestra, che fa parte del complesso Terminio-Tuoro nei Monti Picentini, la cui cima è ad una quota di circa 1.660 m s.m.m. . L'intero massiccio è caratterizzato da numerosi canaloni (i cosiddetti *ninni* dell'Accellica) che contribuiscono alla formazione dei fiumi Calore Irpino, Picentino e Sabato. In particolare, il Fiume Sabato nasce da sorgenti poste a quote variabili fra 800 e 1.000 m s.m.m., proprio in prossimità del Fiume Calore Irpino, ma dal versante opposto, ed è uno dei suoi principali affluenti. A sua volta, il Calore Irpino è il principale affluente del Fiume Volturno (v. la corografia dell'area di studio riportata nella carta in Allegato N.1).

L'intero Fiume Sabato, fino alla confluenza con il Calore Irpino, è lungo circa 60 km e ha un bacino idrografico complessivo di circa 413 km^2. Le verifiche idrauliche sono state effettuate in corrispondenza delle sezioni da considerare a maggiore rischio e/o di specifico interesse per la pianificazione del territorio comunale, in particolare caratterizzate:

- da particolari forme e andamenti plano-altimetrici dell'alveo;
- dalla presenza di manufatti che possono interferire in modo significativo con il naturale moto della corrente idrica (ponti, tombinature, briglie, ecc.);
- da immissioni e confluenze fra i corsi d'acqua di importanza non trascurabile.

Lo studio idrologico-idraulico riportato in questa relazione si riferisce al bacino imbrifero del Fiume Sabato chiuso alla sezione ubicata in corrispondenza del ponte a quota 356 m s.m.m. nel Comune di S. Michele di Serino, poco a valle delle sorgenti Acquaro-Pelosi. La sezione di chiusura del bacino sarà nel seguito identificata come ID=2.

Si è ritenuto utile caratterizzare il regime idrologico anche con riferimento alla parte del bacino dove è più modesta l'azione antropica e, in particolare, è minore la presenza di zone urbanizzate e organizzate, e dove c'è la presenza di importanti aree a vincolo paesaggistico. Il limite di tale parte del bacino è stata identificata con la sezione dell'alveo (ID=1) ubicata immediatamente a valle del Vallone Matrunolo (in destra idraulica) e del Vallone dell'Asino (in sinistra idraulica).

Riepilogando, le valutazioni idrologiche e idrauliche riportate in questa relazione sono riferite alle seguenti due sezioni del Fiume Sabato (v. Allegato N. 1):

- sezione ID=1, ubicata immediatamente a valle delle intersezioni del Fiume Sabato con gli impluvi del Vallone Matrunolo e del Vallone dell'Asino;
- sezione ID=2, che rappresenta la sezione di chiusura del bacino in esame ed è ubicata nel Comune di S. Michele di Serino, in corrispondenza del ponte ubicato in prossimità di un campo sportivo.

2.2. Principali caratteristiche morfologiche, geologiche e idrogeologiche

In Allegato N. 2 è riportata l'altimetria e la delimitazione del bacino idrografico del Fiume Sabato sotteso dalla sezione di chiusura ID=2. L'Allegato N. 3, invece, riporta l'idrografia del bacino oggetto di studio.

La carta dell'altimetria dell'Allegato N. 2 evidenza le diverse fasce altimetriche e quindi fornisce anche un'idea della distribuzione delle aree parziali del bacino comprese fra due successive fasce altimetriche, ossia della distribuzione ipsometrica per il bacino considerato.

Dal punto di vista planimetrico (v. Allegato N. 3), il fiume presenta una accentuata sinuosità nella zona più montana, mentre già dalla sezione iniziale dello studio idraulico si riscontra uno sviluppo meno accentuato dei meandri, anche se in alcune zone tale caratteristica diviene localmente più evidente. I principali parametri morfologici del bacino sono riassunti in Tabella 2-1.

Tabella 2-1. Parametri morfologici del bacino del Fiume Sabato alla sezione ID=1 e alla sezione di chiusura ID=2.

ID	Area (km^2)	z_{min} (m s.l.m.)	z_{max} (m s.l.m.)	z_{media} (m s.l.m.)
1	43,6	485	1806	911
2	63,4	356	1806	846

2.2.2. Inquadramento geologico

Per il bacino del Fiume Sabato che ricade nel territorio comunale di Serino sono disponibili diversi studi e informazioni a carattere geologico e idrogeologico che si sono rivelate utili per l'individuazione dei principali litotipi presenti nell'area di interesse.

Dati geologici alla scala locale sono stati innanzi tutto raccolti in epoche diverse sia dalla Radaelli & Castellotti S.r.l. nonché dal Dott. Geol. Gerardo Peluso. Nel 2004 il Geol. G. Peluso ha redatto uno studio geologico-tecnico per l'adeguamento del P.R.G. comunale in cui sono riportati i risultati di ulteriori indagini eseguite per determinare le principali caratteristiche fisico-meccaniche del sottosuolo

dell'area comunale, anche se con maggiori dettagli per le zone prossime alle aree urbanizzate, inquadrandoli altresì nelle perimetrazioni del PSAI-Rf dell'Autorità di Bacino dei Fiumi Liri-Garigliano e Volturno.

Il massiccio del Terminio-Tuoro rappresenta la porzione nord-occidentale della catena dei Monti Picentini ed è costituito da termini calcarei e calcareo-dolomitici mesozoici, ma in modo marginale anche da depositi terrigeni localmente ricoperti da detriti, alluvioni e piroclastiti recenti (Civita, 1969; Esposito, 2001). La serie carbonatica comprende terreni in successione continua dal Trias superiore al Cretaceo superiore, per una potenza complessiva di circa 2.500 metri. Dei tre termini della suddetta successione (le dolomie basali ascrivibili al Trias, i calcari-dolomitici dell'Infralias ed i calcari del Lias-Creta), nella zona in esame affiora praticamente solo quello carbonatico. I depositi terrigeni, stratigraficamente sovrapposti alle rocce carbonatiche, sono rappresentati da brecce e brecciole calcaree ad elementi calcarei, calcari a Nummuliti, Argille Varicolori scagliose ("Complesso Argilloso Caotico") e Arenarie (Arenarie di Chiusano San Domenico, note come "Complesso Molassico", e Arenarie di San Mango sul Calore, note come "Complesso Arenaceo-Conglomeratico"). Nell'area d'interesse affiorano soltanto il "Complesso Argilloso Caotico", quello "Molassico" e quello "Arenaceo-Conglomeratico". A copertura dei depositi, si rilevano formazioni appartenenti a diverse litofacies costituite da brecce di versante a cemento calcareo, depositi piroclastici, detriti di falda, conoidi di deiezione ed alluvioni fluviali e fluvio-lacustri, antiche ed attuali.

La situazione strutturale del massiccio Terminio-Tuoro si rivela particolarmente complessa soprattutto a causa della sovrapposizione di più sistemi di faglie associate ad altrettante fasi tettoniche succedutesi nel tempo. In particolare, si riconoscono due sistemi di faglie di età differente: il primo, con orientazione Nord-Sud ed Est-Ovest, è riconducibile a fasi tettoniche compressive; fanno parte di questo sistema le direttrici Calore-Terminio, che marcano ad Est il massiccio, e, limitatamente all'area di studio, quelle su cui si imposta il corso del Fiume Sabato; il secondo, più recente (di età plio-quaternaria) e sovrapposto al primo, ha orientazione appenninica (Nord-Ovest/Sud-Est) e antiappenninica (Sud-Ovest/Nord-Est); infine, lungo il margine settentrionale si osservano importanti fronti di accavallamento tettonico.

Il territorio comunale di Serino ricade lungo il margine nord-occidentale dei Monti Picentini, compreso fra le valli del Fiume Sabato e del Fiume Calore Irpino e, in particolare, l'abitato di Serino è impostato su di una valle fluviale che nella zona centro-settentrionale ha andamento sub-pianeggiante, mentre ad est e ovest si raccorda ai versanti mediante aree pedemontane a morfologia leggermente più acclive.

Dalle indagini locali svolte dal Dott. Geologo G. Peluso si rileva che il sottosuolo dell'area di

interesse si presenta alquanto complesso fino alle profondità investigate, con depositi molto diversi per la presenza sia di due distinti litotipi come terreni di substrato sia di terreni di copertura che vanno dai depositi alluvionali ghiaioso-sabbiosi alle piroclastici argillificate, dai depositi detritici ghiaiosi con matrice ceneritica alterata dall'ignimbrite campana per lo più in facies sciolta. Per una zona abbastanza estesa del territorio in esame sono stati rinvenuti depositi alluvionali di notevole spessore intercalati a depositi detritici e piroclastici a testimonianza della continuità spaziale e temporale dei processi erosivi e della contemporaneità, a partire da circa 100.000 anni fa almeno, degli eventi vulcanici che con i loro depositi hanno contribuito all'evoluzione dell'area.

2.2.3. Inquadramento idrogeologico

Il sistema dei Monti Accellica (da cui nasce il Fiume Sabato), Licinici e Mai è prevalentemente composto da dolomie liassico-triassiche e da calcari cretacei, appartenenti all'unità stratigrafico-strutturale dei Monti Picentini-Taburno (Celico, 1978). La successione carbonatica è sovrascorsa sull'Unità Lagonegro II costituita da calcari poco permeabili, con selce e scisti silicei. Fra i confini della struttura idrogeologica del sistema Accellica-Licinici-Mai sono da segnalare: a nord, i depositi alluvionali del Fiume Sabato; a nord-est, la faglia dell'alto corso del Fiume Calore Irpino che mette in contatto le meno permeabili rocce dolomitiche dell'Accellica con i calcari più permeabili del Monte Terminio.

Il massiccio carbonatico del Monte Terminio-Tuoro occupa la parte settentrionale della catena dei Monti Picentini ed è costituito in prevalenza da calcari del Cretaceo (Celico, 1978). L'acquifero carbonatico è ben delimitato poiché è in gran parte circondato da terreni poco permeabili o praticamente impermeabili che, nella parte meridionale, sono sottoposti ad una potente coltre di depositi alluvionali quaternari nella valle del Fiume Sabato. All'interno del massiccio, la circolazione idrica sotterranea è condizionata dalla fitta rete di fratture e faglie connesse alla tettonica distensiva, alle discontinuità tettoniche di natura compressiva e allo sviluppato sistema carsico (Civita, 1969).

Il sistema Terminio-Tuoro riveste un ruolo di rilevanza interregionale per l'approvvigionamento idrico ad uso potabile a favore della città di Napoli e di diversi Comuni dell'avellinese, del beneventano e casertano (Aquino, 2006), essendo la sede di importanti emergenze basali (con rendimento medio di acque sotterranee delle rocce carbonatiche pari a circa 40 l/s/km^2, per una superficie di circa 140 km^2) che alimentano manifestazioni sorgentizie gestite dall'Azienda Risorse Idriche di Napoli A.R.I.N. (gruppo Serino), dall'Acquedotto Pugliese (gruppo Cassano Irpino) e dal Consorzio Interprovinciale Alto Calore (gruppo Cassano - Sorgenti di Sorbo Serpico - Sorgente Baiardo e Sorgenti alte del Calore).

Da documenti e relazioni delle A.T.O. n. 1 (Calore Irpino) e A.T.O. n. 2 (Napoli-Volturno) si ricava che il corpo idrico sotterraneo dell'alta valle del Sabato è prevalentemente costituito da depositi detritici cartonatici (a matrice piroclastica) e alluvionali (alternanza disordinata di ghiaie prevalenti, limi e sabbie) che poggiano su di un substrato argilloso-marnoso-arenaceo da considerare praticamente impermeabile. Il Fiume Sabato rappresenta il punto a quota minore di recapito della falda, mentre i recapiti più importanti sono rappresentati dalle sorgenti "Acquaro-Pelosi" e "Urciuoli", la cui alimentazione principale deriva dal corpo idrico carbonatico dei Monti Terminio-Tuoro.

In Allegato N. 3 è riportata la carta con lo schema idrogeologico del massiccio del Terminio-Tuoro, tratta dal lavoro di Celico e collaboratori (1994).

2.3. Land Systems - Informazioni vegetazionali e di uso del suolo

Non sono stati trovati dati pedologici sui suoli del bacino in esame, ma è stata consultata la recente carta dei sistemi di terre della Campania, promosso dalla società Risorsa s.r.l. (Di Gennaro et al., 2002) che rappresenta un utile strumento interpretativo delle risorse naturali e agro-forestali del territorio regionale. L'analisi dei "sistemi di terre" (o *Land Systems*) si basa essenzialmente sul riconoscimento di ambiti geografici ragionevolmente omogenei rispetto ai fattori ambientali che ne influenzano l'uso potenziale e le possibili dinamiche degradative e, in particolare, illustra le strutture ambientali più o meno permanenti connesse all'azione, integrata nel tempo, dei fattori climatici, dei substrati, della morfologia, delle comunità biotiche e delle modificazioni antropiche permanenti (ad esempio, le bonifiche, i terrazzamenti, l'erosione idrica superficiale, ecc.).

La legenda della Carta dei Sistemi di Terre della Campania si articola in tre livelli gerarchici:

- grandi sistemi di terre, identificati con una lettera maiuscola (ad esempio, A);
- sistemi di terre, identificati con la lettera maiuscola relativa al grande sistema di appartenenza, seguita da un codice numerico (ad esempio, A1);
- sottosistemi di terre, identificati con la sigla del sistema di appartenenza seguita da un secondo codice numerico (ad esempio, A1.1).

L'esame della "*Carta dei Sistemi di Terre della Campania*" per il bacino del Fiume Sabato alla sezione di chiusura ID=2, consente di identificare le seguenti zone omogenee (v. Allegato N. 4):

⇨ A1 – Sistema di terre "*Alta Montagna calcarea*"

Il grande sistema dell'*Alta Montagna* (A) comprende le aree si sommità e i versanti montani alti dei rilievi calcarei, marnoso-arenacei e marnoso-calcarei, a interferenza climatica forte o molto forte. Le zone a quote più elevate, principalmente ubicate in destra idraulica o nella parte di testata (es., M. Terminio, M. Accellica), sono inserite nel sottosistema A1.1 "*Sommità e versanti dell'alta montagna calcarea con depositi da caduta di ceneri*" (v. Figura 2-1), caratterizzato da: suoli ripidi o molto ripidi, da moderatamente profondi a profondi, su depositi da caduta di ceneri, a tessitura media, con buona disponibilità di ossigeno (Molli-Eutrisilic Andosols, Molli-Vitric Andosols); suoli ripidi o molto ripidi, da superficiali a moderatamente profondi, rocciosi pietrosi, su depositi da caduta di ceneri ricoprenti la roccia calcarea, a tessitura media, con buona disponibilità di ossigeno, ciottolosi [Molli-Eutrisilic Andosols (Epileptic), Molli-Eutrisilic Andosols (Endoleptic)].



Figura 2-1. Sottosistema A1.1 .

⇨ B1 e B2 – Sistema di terre "*Rilievi calcarei*"

Il grande sistema B comprende le aree della media e bassa montagna calcarea, a interferenza climatica da forte a moderata. Procedendo dalle zone di alta montagna verso l'impluvio, si distingue il sistema B1 in destra idraulica, mentre quello B2 in sinistra idraulica . In particolare, in destra idraulica è inserito il sottosistema B1.1 "*Rilievi calcarei interni con depositi da caduta di ceneri*" (v. Figura 2-2), caratterizzato da: suoli ripidi o molto ripidi, da moderatamente profondi a profondi, su depositi da

caduta di ceneri, a tessitura media o moderatamente grossolana, con buona disponibilità di ossigeno (Molli-Vitric Andosols, Molli-Eutrisilic Andosols); suoli ripidi o molto ripidi, da superficiali a moderatamente profondi, pietrosi, su depositi da caduta di ceneri ricoprenti la roccia calcarea, a tessitura media o moderatamente grossolana, con buona disponibilità di ossigeno, ciottolosi [Molli-Eutrisilic Andosols (Epileptic), Molli-Eutrisilic Andosols (Endoleptic)]. In sinistra idraulica, invece, prevale il sottosistema B2.1 "*Rilievi calcarei di Montevergine e dei monti di Sarno con depositi da caduta di ceneri e pomici*", caratterizzato da: suoli ripidi o molto ripidi, localmente su ciglionamenti antropici, profondi, su depositi da caduta di ceneri e pomici, a tessitura moderatamente grossolana, con buona disponibilità di ossigeno (Molli-Vitric Andosols); suoli ripidi o molto ripidi, da superficiali a moderatamente profondi, rocciosi, pietrosi, su depositi da caduta di ceneri e pomici ricoprenti la roccia calcarea, a tessitura moderatamente grossolana, con buona disponibilità di ossigeno, ghiaiosi [Molli-Vitirc Andosols (Epileptic), Molli-Vitric Andosols (Endoleptic)].



Figura 2-2. Sottosistema B1.1 .

⇨ H1 – Sistema di terre "*Terrazzi alluvionali dell'alto e medio corso dei fiumi Volturno e Calore*"

Procedendo sempre dai rilievi più in quota verso il greto del fiume, si riconosce la presenza del grande sistema H, che comprende le aree dei terrazzi e delle conoidi alluvionali, morfologicamente rilevate rispetto al livello di base della pianura alluvionale, ad interferenza climatica assente o lieve, con rischio di deficit idrico estivo da moderato a elevato. In particolare, sia in destra sia in sinistra idraulica del Fiume Sabato è presente il sottosistema H1.1 "*Terrazzi alluvionali dell'alto e medio corso del fiume Volturno e dei fiumi appenninici*", caratterizzato da: suoli da pianeggianti a molto inclinati, profondi, su depositi alluvionali, antichi terrazzati, a tessitura moderatamente fine o fine, con disponibilità di ossigeno buona o moderata, ghiaiosi in profondità (Cutanic Luvisols); suoli pianeggianti, molto profondi, su depositi da caduta di ceneri, a tessitura moderatamente grossolana in superficie, moderatamente fine in profondità, con buona disponibilità di ossigeno [Pachi-Vitric Andosols (Luvic)]; suoli da pianeggianti a dolcemente inclinati, su depositi alluvionali recenti, a tessitura moderatamente fine o fine, con disponibilità di ossigeno buona o moderata (Eutric Cambisols); suoli da molto inclinati a ripidi, da superficiali a moderatamente profondi, pietrosi, su depositi alluvionali, antichi terrazzati, a tessitura moderatamente fine o media, con disponibilità di ossigeno buona, molto ghiaiosi (Eutric Cambisols, Skeletic Regosols).

⇨ I1 – Sistema di terre "*Aree relativamente rilevate delle pianure alluvionali*"

Il grande sistema I comprende le aree della pianura alluvionale, ad interferenza climatica assente o lieve, con rischio di deficit idrico estivo da moderato a elevato e si articola con suoli su sedimenti fluviali attuali e recenti e su depositi antropici di colmata, localmente intercalati a depositi di ceneri, pomici e lapilli da caduta o da flusso piroclastico. La parte più a monte del greto del Fiume Sabato (nella zona di C.da Masucci compresa fra M. Pizzautolo e Serra di Lacerone) rientra nel sottosistema I1.1 "*Fondovalle alluvionali del fiume Volturno e dei fiumi appenninici*", caratterizzato da: suoli pianeggianti, molto profondi, su depositi alluvionali recenti ed attuali, a tessitura media o moderatamente fine, con disponibilità di ossigeno buona o moderata (Calcaric Cambisols, Calcari-Fluvic Cambisols); suoli pianeggianti, profondi, pietrosi, su depositi alluvionali attuali, a tessitura moderatamente grossolana o media, con disponibilità di ossigeno buona o moderata, ghiaiosi (Skeleti-Calacaric Regosols).

Procendo più a valle, specificamente nella parte del greto in corrispondenza di Ribottoli e del Vallone dei Lonzilli e fino oltre Atripalda, il greto del fiume rientra nel sottosistema I1.3 "*Pianure alluvionali interne minori*", caratterizzato da: suoli pianeggianti, molto profondi, su depositi di ceneri e pomici da caduta, localmente rielaborati dalle acque superficiali, a tessitura media o moderatamente

fine, con disponibilità di ossigeno buona o moderata [Molli-Vitric Andosols, Luvi-Vitric Andosols (Mollic)].

Per migliorare la conoscenza del territorio rurale della Campania e soprattutto per rendere facilmente disponibile uno strumento di valido ausilio alla pianificazione degli interventi del settore agricolo e forestale nella nostra regione, di recente l'Assessorato all'Agricoltura della Regione Campania ha provveduto ad aggiornare la Carta dell'Utilizzazione Agricola dei Suoli della Campania (CUAS), restituendola alla scala 1:50.000.

Dalla mappa al Foglio n. 449 (Avellino) si rileva che nel 2004 la gran parte dell'uso agricolo del suolo nel bacino del Fiume Sabato, sotteso dalla sezione di chiusura ID=2, è rappresentata da boschi di latifoglie. Sia nella zona più montana del bacino, in prossimità della località Fontana dell'Olmo e prevalentemente in sinistra idraulica, sia nella parte più densamente abitata, a valle del Vallone dei Lonzilli e fino al limite comunale, la carta indica la presenza di frutteti. E' da segnalare che in destra idraulica del Fiume Sabato, dalla località Fontana del Carpine fino a poco a valle del Vallone dei Lonzilli, la carta dell'uso agricolo del suolo riporta la presenza di castagneti da frutto.

Informazioni di maggiore dettaglio, che di seguito saranno solo riassunte, sono riportate nello studio svolto dal Prof. Antonio Saracino per la stesura della "Carta di Uso del Suolo e della Copertura Vegetale" a corredo del P.U.C. di Serino. La Carta di Uso del Suolo e della Copertura Vegetale è restituita alla scala di 1:5.000 identificando le diverse tipologie di utilizzo del suolo con l'ausilio di ortofoto a colori, volo 2004, e di una base topografica georeferenziata dell'area, e validando i risultati con accurati rilievi eseguiti direttamente in sito. Le diverse classi di uso del suolo identificate in questo studio, con le relative superfici occupate, sono riportate nella Tabella 2.2 .

L'uso prevalente del suolo è dedicato alla "Selva castanile da frutto" e in subordine ai "Cedui misti". La selva castanile rappresenta la tipologia forestale più estesa del territorio comunale, dal livello del Fiume Sabato fino alla quota di circa 900 m s.m.m., e piccoli appezzamenti sono anche presenti all'interno del tessuto urbano, intercalati e inframmezzati ad altre colture arboree (noccioleti, noceti, frutteti). In queste aree il suolo, facilmente erodibile e non ricoperto da lettiera e da vegetazione, rende particolarmente impattante il calpestio concentrato e il transito di veicoli. Per quanto riguarda i cedui misti (a prevalenza di carpino nero, cerro, acero, faggio e leccio), invece, si tratta di formazioni riconducibili a cedui invecchiati e irregolarmente matricinati (intensamente utilizzati fino a qualche decennio fa), in evoluzione naturale a fustaia; vegetano su pendici generalmente acclivi o molto acclivi, caratterizzate da alternanze di impluvi con suolo più profondo e displuvi con suoli superficiali; sono presenti affioramenti rocciosi, balzi di roccia e massi sciolti soggetti a rotolamento.

Tabella 2-2. Classi di uso del suolo nel Comune di Serino (da Saracino, 2008).

№	USO DEL SUOLO	Superficie, *S* (ha)	S/S_{TOT} (%)
1	Tessuto urbano continuo	51,843	0,99
2	Tessuto urbano discontinuo	8,007	0,15
3	Tessuto urbano sparso	5,881	0,11
4	Superfici impermeabili ed infrastrutture viarie	220,174	4,21
5	Aree verdi di pertinenza delle aree urbane	13,959	0,27
6	Aree verdi di pertinenza della rete stradale e infrastrutturale	7,225	0,14
7	Suoli rimaneggiati e spazi in costruzione	6,964	0,13
8	Cave	1,885	0,04
9	Orti arborati in aree urbane e periurbane	60,520	1,16
10	Seminativi	7,825	0,15
11	Coltivazioni arboree specializzate	461,421	8,82
12	Selva castanile da frutto	1615,706	30,88
13	Cedui di castagno	278,553	5,32
14	Cedui misti a prevalenza di carpino nero, cerro, acero, faggio e leccio	763,327	14,59
15	Cedui misti a prevalenza di carpino nero, faggio e acero	397,414	7,60
16	Cedui misti a prevalenza di cerro e roverella	174,493	3,34
17	Cedui misti a prevalenza di leccio, orniello e roverella	154,496	2,95
18	Cedui misti a prevalenza di roverella, carpino nero e orniello	79,508	1,52
19	Cedui degradati o fortemente degradati	78,805	1,51
20	Fustaia di faggio di origine agamica	403,130	7,71
21	Rimboschimenti di conifere esotiche	86,568	1,65
22	Fustaia di faggio di origine agamica coniferata	6,061	0,12
23	Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione	108,329	2,07
24	Prati e pascoli	43,938	0,84
25	Aree denudate e pareti rocciose	71,214	1,36
26	Vegetazione di forra, ripariale e/o extrazonale	107,134	2,05
27	Aree di pertinenza fluviale con vegetazione sinantropica e ruderale	7,984	0,15
28	Fascia vegetazionale metanodotto	8,696	0,17
29	Servitù di elettrodotto	0,396	0,01
	Totale	**5231,456**	**100,00**

La composizione specifica del ceduo è funzione dell'orografia e dell'esposizione delle pendici: negli impluvi e nelle esposizioni ai quadranti settentrionali, prevalgono le specie mesoigrofile (faggio, acero di monte, acero di Lobelius, betulla, pioppo tremulo, tiglio, ontano, castagno); nei displuvi e nelle aree più rocciose, invece, che generalmente sono esposte ai quadranti meridionali, prevalgono le specie più mesoxerofile (cerro, carpino nero, acero napoletano, orniello, leccio).

Di particolare rilevanza sono poi le aree destinate a "Coltivazioni arboree specializzate" e "Fustaia di faggio di origine agamica". Le coltivazioni arboree specializzate riguardano essenzialmente i

noccioleti e noceti, nonché arboreti promiscui ad elevata complessità colturale con noci, ciliegi, peschi, albicocchi, meli, peri, viti e oliveti (questi ultimi molto sporadici e, spesso, rappresentati da pochissime piante). La zona a fustaia, invece, rappresenta soprassuoli in conversione naturale a fustaia, ceduati fino a metà del secolo scorso per la produzione di carbone e legna da ardere.

2.4. Zonazione del territorio per scopi idrologici

Le informazioni fin qui riportate sulle principali caratteristiche morfologiche, geo-pedologiche, idrogeologiche, di uso del suolo e vegetazionali sono state utilizzate per suddividere il bacino in esame in complessi idrogeologici costituiti da litotipi rappresentativi di un loro comportamento globale rispetto ai fenomeni dell'infiltrazione dell'acqua nel suolo e la sua percolazione e circolazione nel sottosuolo, in modo che nell'ambito di ciascun complesso e alla scala spaziale assegnata la variabilità dei parametri che regolano questi processi sia di modesta entità e di natura essenzialmente casuale. In generale, questi idrogeomorfotipi sono definiti in base ai complessi idrogeologici affioranti, alla morfologia dei versanti, alle caratteristiche idrologiche del suolo, alla copertura vegetale, alle sistemazioni idraulico-agrarie e alla loro manutenzione per rallentare il ruscellamento dell'acqua verso le valli alluvionali (Celico e De Innocentiis, 1994).

Celico e De Innocentiis (1994) hanno proposto di suddividere la Regione Campania in cinque distinti complessi idrogeologici in relazione alle seguenti classi di capacità di infiltrazione e caratteristiche medie di permeabilità relativa: alta (A), medio-alta (MA), media (M), medio-bassa (MB) e bassa (B).

Per la determinazione delle portate di piena di un corso d'acqua, in mancanza di dati idrometrici, come nel caso in esame, il rapporto VAPI-Campania ha proposto di suddividere un bacino in almeno due distinti complessi idrogeologici:

- uno carbonatico, essenzialmente composto dalle formazioni con permeabilità alta e medio-alta, e dunque da ritenere come *permeabile*;
- uno praticamente *impermeabile*, composto dalle formazioni a permeabilità media, medio-bassa e bassa.

E' tuttavia ben nota anche l'importanza che la vegetazione esercita sul processo di formazione di una piena e, in particolare, l'influenza (ovviamente alla scala regionale) che la copertura boschiva, generalmente impostata sui massicci carbonatici, può esercitare sui deflussi superficiali.

Pertanto, è stata anche proposta una stima regionale dei parametri che caratterizzano la risposta idrologica di un bacino idrografico distinguendo il territorio in tre distinti tipi idrogeomorfologici omogenei:

- le aree *permeabili con copertura boschiva*, che in pratica non contribuiscono alla piena;
- le aree *permeabili senza copertura boschiva*, con modesto contributo unitario e con deflusso lento;
- le aree *impermeabili*, con maggiore contributo unitario e deflusso più rapido.

Tenendo anche conto delle analisi specifiche svolte dal Geol. Peluso e dal Prof. Saracino per il territorio del Comune di Serino, la Tabella 2-3 riporta le estensioni dei diversi litotipi omogenei dal punto di vista idrogeomorfologico per il bacino in esame e alle due sezioni considerate.

Tabella 2-3. Estensione dei complessi idrogeologici del Fiume Sabato alla sezione ID=1 e alla sezione di chiusura ID=2.

ID	**Area totale**	**Schema con 2 *idrogeomorfotipi***			**Schema con 3 *idrogeomorfotipi***		
		complesso impermeabile	***complesso permeabile***		***complesso impermeabile***	***complesso permeabile*** **con bosco**	***complesso permeabile*** **senza bosco**
	(km^2)	**(km^2)**	**(km^2)**		**(km^2)**	**(km^2)**	**(km^2)**
1	43,6	17,2	26,4		17,2	23,6	2,80
2	63,4	24,8	38,6		24,8	34,8	3,80

2.5. Elementi climatici - Principali caratteristiche del regime idrologico

Per la definizione delle condizioni climatiche e del regime idrologico locali sono state considerate le serie storiche di temperatura e precipitazione registrate alle stazioni di Serino "*Sorgenti Pelosi*", ubicata a quota 373 m s.m.m. (latitudine=488739; longitudine=4524292), e Serino "*Sorgenti Urciuoli*", ubicata a quota 331 m s.m.m. (latitudine=487083; longitudine=4526849), pubblicati nel "Piano di Tutela delle Acque" della Regione Campania. Non sono state reperite per altre zone del bacino in esame, in particolare quelle ubicate alle maggiori quote, stazioni termo-pluviometriche con un sufficiente periodo di anni di osservazioni e non è stato quindi possibile eseguire confronti fra dati meteorologici relativi a zone differenti della valle del Fiume Sabato compresa nel territorio comunale di Serino.

La Tabella 2-4 riporta i valori medi delle temperature mensili (in °C) per queste due stazioni meteorologiche, mentre un confronto diretto fra le registrazioni a queste due stazioni è riportato nel grafico di Figura 2-3. La media delle temperature annue registrate in circa 20 anni di osservazioni, dal 1972 al 1999, varia da 12,3 °C, per la stazione di Serino-SorgentiPelosi, a 12,6 °C, per la stazione di Serino-SorgentiUrciuoli.

Tabella 2-4. Temperatura media mensile e annua (in °C) per le stazioni meteorologiche di Serino-*SorgentiPelosi* e Serino-*SorgentiUrciuoli*.

	Serino-*SorgentiPelosi*		Serino-*SorgentiUrciuoli*	
Mese	n° dati	$T_{m,i}$	n° dati	$T_{m,i}$
gennaio	20	5,0	20	4,9
febbraio	19	5,6	19	5,6
marzo	20	7,7	20	7,8
aprile	20	10,3	20	10,6
maggio	20	15,4	20	15,9
giugno	20	19,1	20	19,4
luglio	20	21,1	20	21,6
agosto	19	20,2	20	21,0
settembre	20	16,9	20	17,3
ottobre	20	12,3	20	12,7
novembre	20	8,2	20	8,4
dicembre	19	5,9	19	5,8
media annua		*12,3*		*12,6*

L'esame dei dati riportati in Tabella 2-4 e Figura 2-3 consente di riconoscere che il regime termometrico per Serino è caratterizzato da temperature medie mensili minime che si verificano nel periodo dicembre-gennaio-febbraio e circa pari a 5,5 °C, e da temperature massime che si registrano nel periodo giugno-luglio-agosto e circa pari a 20,4 °C. Si evidenzia dunque una variabilità termica media mensile abbastanza ampia e pari a circa 15 °C (20,4-5,5 = 14,9 °C). Il periodo in cui si riscontrano temperature più prossime a quelle medie annuali è compreso fra i mesi di aprile-maggio.

La precipitazione piovosa per Serino è stata caratterizzata in base ai dati disponibili delle altezze di pioggia registrati ai pluviometri ubicati alle Sorgenti-Pelosi e Sorgenti-Urciuoli.

Per la stazione di Serino-Sorg.Urciuoli, sono disponibili i valori dei massimi annuali dell'altezza di pioggia giornaliera h_g per il periodo 1920-1985. La Figura 2-4 riporta i 37 valori di h_g insieme con la linea rappresentativa della media nel periodo, pari a $h_{g,media}$ = 83,2 mm. L'analisi di questi valori non rileva la presenza di anomalie nella distribuzione dei massimi annuali delle piogge giornaliere che oscillano intorno alla media del periodo, assumendo tuttavia valori alquanto elevati di 172,5 mm

nell'anno 1963 e di 164,5 mm nell'anno 1977 come pure valori più modesti di 49,1 mm nel 1926 e fino al minimo dei dati disponibili pari a 45,0 mm relativo all'anno 1943.

Per il periodo 1951-1997, i valori delle altezze di pioggia cumulata media mensile e di quella annua (in mm) per le due stazioni di Serino-Pelosi e Serino-Urciuoli sono riportati nella Tabella 2-5, mentre la Figura 2-5 consente un confronto visivo dei dati di precipitazione mensile per queste due stazioni.

Tabella 2-5. Pioggia cumulata media mensile e annua (in mm) per le stazioni meteorologiche di Serino-*SorgentiPelosi* e Serino-*SorgentiUrciuoli*.

	Serino-*SorgentiPelosi*		Serino-*SorgentiUrciuoli*	
Mese	n° dati	$H_{m,i}$	n° dati	$H_{m,i}$
gennaio	17	177,5	31	159,50
febbraio	16	145,0	30	140,00
marzo	17	161,4	31	132,60
aprile	17	137,3	31	108,60
maggio	17	91,2	31	72,50
giugno	17	50,5	31	46,20
luglio	17	27,8	31	29,40
agosto	17	63,0	31	41,00
settembre	17	10,7	31	85,50
ottobre	17	201,2	31	170,20
novembre	17	227,3	31	201,50
dicembre	16	182,8	30	212,60
media annua		*1627,65*		*1425,36*

La distribuzione della precipitazione mensile rilevata durante l'anno ad entrambe le stazioni indica che il regime pluviometrico a Serino è in media quello tipico mediterraneo, con valori minimi nel periodo estivo e valori massimi in quello invernale.

2.5.1. Analisi climatica

Per delineare i caratteri essenziali del clima nella zona di Serino, specie in prossimità del centro urbano, sono stati messi a confronto i dati disponibili di temperatura e precipitazione.

I diagrammi più utilizzati nelle pratiche applicazioni per classificare un clima sono stati suggeriti da Bagnouls & Gaussen (1957), poi modificati e standardizzati da Walter & Lieth (1967), che rappresentano in maniera sintetica l'andamento delle temperature e delle precipitazioni e consentono di stabilire il grado di umidità e aridità di una certa zona. Questi autori hanno proposto di definire come secco il mese in cui il rapporto fra precipitazione cumulata mensile H (in mm) e la media delle

temperature medie mensili T (in °C) sia uguale o minore di 2 ($H/T \leq 2$). Il clima poi si classifica in base al numero di mesi aridi secondo lo schema indicato in Tabella 2-6.

Tabella 2-6. Classificazione climatica proposta da Bagnouls & Gaussen (1957).

Clima	N° di mesi aridi
caldo desertico	12
caldo sub-desertico	9-11
mediterraneo	1-8
” xeromediterraneo	7-8
” termomediterraneo	5-6
” mesomediterraneo	3-4
” submediterraneo	1-2

Elaborando con questo criterio i dati disponibili di temperatura e precipitazione piovosa si ottengono i cosiddetti diagrammi ombrotermici (o termoudogrammi) per le stazioni meteorologiche di Serino-Sorg.Pelosi e Serino-Sorg.Urciuoli, riportati rispettivamente nelle Figure 2-6 e 2-7. Questi diagrammi riportano sull'asse delle ascisse i dodici mesi dell'anno, mentre sono a doppia ordinata, con la temperatura nelle ordinate a sinistra (in °C) e la precipitazione nelle ordinate a destra (in mm) e adottando per gli assi delle ordinate la scala 1 °C = 2 mm .

L'esame dei due diagrammi ombrotermici consente di evidenziare che per Serino-Sorg.Urciuoli il rapporto H/T è ≤ 2 nei mesi di luglio e agosto, mentre per Serino-Sorg.Pelosi tale rapporto è <2 soltanto nel mese di luglio. Condizioni di aridità (secondo la classificazione di Bagnouls & Gaussen) e quindi critici per la vegetazione si possono in media verificare nel periodo luglio-agosto e quindi, in base alla classifica di Bagnouls & Gaussen di Tabella 2-6, per Serino (a rigore, per quelle zone più prossime alle due stazioni considerate) il clima si può considerare del tipo "mediterraneo/sub-mediterraneo".

Tuttavia, un diagramma ombrotermico non consente di percepire adeguatamente la ciclicità dei dati di temperatura e precipitazione e peraltro si fonda sul presupposto di una relazione lineare esistente fra temperatura e precipitazione (di Gaussen $H=2T$, ma anche quelle di De Gasperin $H=5T$, o di Birot $H=4T$), ipotesi che in alcuni casi può risultare troppo semplicistica. Queste limitazioni possono essere in parte superate costruendo il cosiddetto climogramma, ossia un diagramma che riporta le precipitazioni (in mm) in funzione della temperatura (in °C), sempre espressi in termini di valori medi mensili, e la linea spezzata che unisce i valori individua un'area rappresentativa del comportamento climatico medio locale. Per meglio discutere le caratteristiche di questa zona del diagramma, in genere si suddivide il climogramma in quadranti ottenuti dall'intersezione delle rette corrispondenti ai valori medi di temperatura e precipitazione mensili. Come esempio, la Figura 2-8 riporta il climogramma per la stazione di Serino–Sorg.Urciuoli.

2.5.2. Bilanci idrologici

Per un inquadramento più completo delle condizioni meteo-climatiche a Serino, sono state eseguite valutazioni per la caratterizzazione del *bilancio idrologico*, ossia riferito alle sole condizioni naturali senza tenere conto delle condizioni modificate per effetto degli usi antropici (bilancio idrico).

In generale, per la stima del bilancio dell'acqua in condizioni naturali e in un determinato intervallo temporale si considerano variabili idrologiche connesse a processi quali l'afflusso meteorico, l'evapotraspirazione effettiva, l'infiltrazione nel suolo e il deflusso superficiale. Anche se oggi sono disponibili tecniche alquanto sofisticate e complesse per l'identificazione dei suddetti processi, in considerazione dei principali obiettivi che si prefigge questa relazione di consulenza si è ritenuto sufficiente ricostruire il bilancio idrologico in base alle differenze fra precipitazione ed evapotraspirazione su base mensile, applicando il classico metodo empirico proposto da Thornthwaite (Thornthwaite, 1948; Thornthwaite & Mather, 1957), indicata come tecnica standard per il calcolo del regime idrico dei suoli a livello tassonomico dalla Soil Taxonomy del Ministero dell'Agricoltura degli Stati Uniti d'America (U.S.D.A.).

Secondo tale metodo, una stima su base mensile del flusso di vapore acqueo dal suolo e da una coltura uniforme e compatta che abbia piena disponibilità idrica, il cosiddetto *flusso di evapotraspirazione potenziale ETP*, si ottiene tramite la relazione:

$$ETP_{m_i} = 16\psi\left(10\frac{T_{m_i}}{\vartheta}\right)^a \qquad (2\text{-}1)\,,$$

in cui:

- $ETP_{m,i}$ (in mm/mese) è l'altezza di evapotraspirazione potenziale media del mese *i*-esimo;
- $T_{m,i}$ (in °C) è il valore della temperatura media dell'aria del mese *i*-esimo in cui si stima *ETP*;
- ϑ è un coefficiente, detto "*indice termico annuale*", che si calcola mediante la seguente relazione:

$$\vartheta = \sum_{i=1}^{12}\left(\frac{T_{m_i}}{5}\right)^{1,514} \qquad (2\text{-}2)\,,$$

e ponendo $T_{m,i} = 0$ se $T_{m,i} < 0$;

- per il calcolo dell'esponente *a* si utilizza la seguente espressione:

$$a = 0,49239 + (1792\times10^{-5}\ \vartheta) - (771\times10^{-7}\ \vartheta^2) + (675\times10^{-9}\ \vartheta^3) \qquad (2\text{-}3)\,;$$

- ψ è un coefficiente costante per ogni mese dell'anno, ma da valutare in base all'insolazione media per la latitudine della zona in esame pari al rapporto fra le ore diurne e la metà (ossia 12) delle ore giornaliere (spesso si pone $\psi = 1$).

La differenza *P-ETP* fra i valori medi mensili di precipitazione *P* e di evapotraspirazione potenziale *ETP* rappresenta un deficit pluviometrico, se negativa, e un surplus pluviometrico, se positiva.

I risultati di questo bilancio idrologico sono riportati nel grafico di Figura 2-9 per la stazione di Serino-Sorg.Urciuoli e Figura 2-10 per la stazione di Serino-Sorg.Pelosi.

3. VALUTAZIONE DELLE MASSIME PORTATE DI PIENA

3.1 Modello probabilistico

Adottando metodi e tecniche consolidate nella letteratura del settore (ad esempio, v. Viparelli C, 1964; Viparelli C. & Viparelli R., 1989; Rossi & Villani, 1995), obiettivo principale dell'indagine idrologica esposta in questo paragrafo è la caratterizzazione in termini prettamente probabilistici delle condizioni di piena che possono determinarsi nelle due sezioni del bacino idrografico del Fiume Sabato e, in particolare, in quella di chiusura ID=2 identificata a valle del centro abitato di Serino.

Con riferimento alla sezione di chiusura F, si indica con:

- Q_c - il massimo valore annuale della portata istantanea Q in F (massimo annuale della portata al colmo di piena);
- $Q_{c,T}$ - il massimo valore che la variabile Q_c può assumere in media una volta ogni T anni.

Con riferimento ad un generico punto P di interesse o, ad esempio, alla posizione ove è ubicata una stazione pluviografica per la misura dell'altezza di pioggia h in un certo intervallo di tempo t, si indica con:

- h_d - il massimo valore annuale dell'altezza di pioggia di durata pari a d ore consecutive, relativo al generico punto P;
- $h_{d,T}$ - il massimo valore che la variabile h_d può assumere in media una volta ogni T anni.

Il parametro T, il cosiddetto *periodo di ritorno*, assume una notevole importanza in ambito idrologico ed ha un preciso significato essendo direttamente connesso al concetto di probabilità di non superamento di un prefissato valore della variabile di interesse (soglia di progetto). Il periodo di ritorno T viene in genere definito come il numero medio di anni che separa il verificarsi di due eventi di intensità maggiore o uguale a quella considerata critica per il particolare problema in esame.

L'analisi idrologica dei valori estremi delle precipitazioni e delle piene è svolta coerentemente con la metodologia proposta nel Rapporto VAPI-Campania (Rossi & Villani, 1995) e utilizzata dall'Autorità di Bacino nazionale dei fiumi Liri-Garigliano e Volturno (AdB-LGV) nel Piano Stralcio di difesa dalle alluvioni (PSAI-Ri).

Tale metodologia consiste in un'analisi regionale di tipo essenzialmente gerarchico, basata sull'uso della distribuzione di probabilità del valore estremo a doppia componente. I momenti statistici della distribuzione si assumono essere uniformi nell'ambito di regioni geografiche. All'aumentare dell'ordine dei momenti aumenta l'estensione delle zone geografiche all'interno delle quali si può ritenere che i parametri assumono valori pressoché costanti.

In termini schematici, la metodologia adottata in questo studio è la seguente:

- la variabile casuale X (ad esempio, $X=Q_c$, massimo annuale della portata al colmo di piena) è distribuita secondo la legge di Gumbel a doppia componente (indicata con l'acronimo TCEV, *Two Component Extreme Value*). Tale modello probabilistico è particolarmente idoneo per meglio interpretare la presenza di eventuali eventi eccezionali nella serie storica;
- la stima di un valore critico ξ di X, da associare al particolare problema in esame (talvolta anche indicato come "valore di soglia" o "valore di progetto"), deve sempre essere riferita ad una probabilità di superamento, e quindi ad un periodo di ritorno T;
- indicato con ξ_T questo valore critico, è sempre possibile porre: $\xi_T = \kappa_T \, \mu(X)$, ove $\mu(X)$ è la media della distribuzione della variabile X (la cosiddetta "*piena indice*", nel caso in cui sia $X=Q_c$) e κ_T è il cosiddetto "*fattore probabilistico di crescita*", funzione del periodo di ritorno T.

Adottato come modello probabilistico la distribuzione TCEV, il fattore probabilistico di crescita κ_T è una funzione univoca del periodo di ritorno T, tramite la seguente relazione:

$$T = \left[1 - \exp\left(-\Lambda_1 \, e^{-\lambda \kappa_T} - \Lambda_* \, \Lambda_1^{1/\theta_*} \, e^{-\lambda \kappa_T / \theta_*}\right)\right]^{-1} \qquad (3\text{-}1)$$

dove:

$$\lambda = \ln(\Lambda_1) + C_{EM} - T_0 \quad ,$$

$$T_0 = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{(-1)^i \, \Lambda_*^i}{i!} \Gamma\left(\frac{i}{\theta_*}\right) \quad ,$$

C_{EM} = costante di Eulero-Mascheroni ($C_{EM} = 0{,}577215665\ldots$) ,

Λ_1, Λ_*, θ_* = parametri della distribuzione TCEV .

In definitiva, per la determinazione di $\xi_T = Q_{c,T}$ è necessario stimare i valori dei parametri della distribuzione TCEV che consentono di identificare la relazione $\kappa_{T,Q} = \kappa_{T,Q}(T)$ e dunque valutare la

portata di piena indice $\mu(Q_c)$ che dipende dal regime pluviometrico e dalle caratteristiche fisiche de bacino idrografico. Si ricorda che la piena indice compare nella seguente relazione:

$$Q_{c,T} = \kappa_{T,Q}\, \mu(Q_c) \qquad (3\text{-}2)$$

Per determinare la legge di variazione di κ_T con il periodo di ritorno T, la cosiddetta *curva di crescita*, Rossi e Villani (1995) considerano la Campania come un'unica zona omogenea per la variabile Q_c e caratterizzata dai parametri TCEV riportati in Tabella 3-1.

Tabella 3-1. Parametri della distribuzione probabilistica TCEV per la variabile $X=Q_c$, massimo annuale delle portate al colmo di piena, e per l'intera Regione Campania (da Rossi e Villani, 1995 – modificata per refusi di stampa).

parametro TCEV	Λ_1	Λ_*	θ_*
valore (per la variabile Q_c)	13,11	0,350	2,654

Pertanto, la Tabella 3-2 riporta i valori del parametro $\kappa_{T,Q}$ calcolati per alcuni periodi di ritorno utilizzando i parametri della Tabella 3-1.

Tabella 3-2. Fattore probabilistico di crescita $\kappa_{T,Q}$ delle piene per diversi periodi di ritorno T, adottato per il bacino idrografico del Fiume Sabato.

***T* (anni)**	2	5	10	20	30	50	100	200	300	500
$\kappa_{T,Q}$ (-)	0,8720	1,292	1,637	2,032	2,284	2,617	3,081	3,550	3,826	4,173

3.2 Stima della portata di piena indice

Nel caso in esame non sono disponibili misure dirette di portata al colmo nella sezione di chiusura del bacino considerato e dunque il valore da attribuire alla piena media annua $\mu(Q_c)$ può essere determinato solo attraverso opportune tecniche di stima indiretta che descrivono la trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi superficiali (trasformazione *afflussi-deflussi*).

Il rapporto VAPI Campania (Rossi e Villani, 1995) suggerisce di seguire due approcci:

- un approccio di tipo puramente empirico, del tipo $\mu(Q_c) = a \cdot A^b$, dove A è la porzione contribuente del bacino idrografico sotteso, mentre a e b sono coefficiente essenzialmente empirico-statistici;

- oppure un approccio di tipo concettuale che descrive, seppure in modo semplificato, la trasformazione afflussi-deflussi nella formazione delle piene.

Per la valutazione della piena indice, in questo studio si è preferito seguire un approccio di tipo concettuale e, in particolare, sono stati adottati:

- metodi razionali, che stimano la piena media annua in funzione della distribuzione delle precipitazioni e delle proprietà morfologiche del bacino;
- metodi geomorfoclimatici, che stimano la piena media annua tramite parametri che tengono conto delle precipitazioni, delle caratteristiche geomorfologiche del bacino, nonché delle caratteristiche idrologiche di trasformazione afflussi-deflussi del bacino.

In generale, l'approccio di tipo concettuale suggerisce di calcolare il valore della piena indice $\mu(Q_c)$ (in m^3/s) utilizzando la seguente relazione:

$$\mu(Q_c) = c \left\{ f_a(A, \tau^*)\, \mu\left[i(\tau^*)\right] \right\} \frac{A}{3{,}6} \qquad (3\text{-}3)$$

che è strutturalmente simile alla classica e ben nota "formula razionale", ma con il seguente diverso significato dei parametri (il coefficiente 3,6 tiene conto delle diverse unità di misura utilizzate):

- c (-) è il coefficiente di piena, caratteristico del bacino idrografico;
- τ^* (in ore) è un tempo caratteristico della risposta idrologica del bacino;
- $\mu[i(\tau^*)]$ (in mm/ora) è il valore medio dell'intensità di pioggia puntuale per una precipitazione di durata d pari al tempo τ^* del bacino;
- f_a (-) è il fattore di riduzione areale, che consente di riferirsi ad una precipitazione media areale;
- A (in km^2) è l'area del bacino.

il coefficiente 3,6 tiene conto delle diverse unità di misura utilizzate.

Qualche breve considerazione merita la scelta del tempo caratteristico τ^* che compare nella (3-3). Nel caso della "formula razionale" tale tempo caratteristico è il tempo di ritardo τ_r (ossia l'intervallo temporale che separa il baricentro del pluviogramma efficace e quello dell'idrogramma di piena ad esso corrispondente), mentre nel metodo geomorfoclimatico esso rappresenta piuttosto la durata critica τ_{cr} che deve avere lo ietogramma rettangolare, con intensità definita dalla legge di probabilità pluviometrica (LPP), a cui corrisponde il massimo valore della portata al colmo, per un prefissato

modello di trasformazione afflussi-deflussi del bacino. Tale durata critica assume in genere valori intermedi fra il tempo di ritardo e il tempo di corrivazione, ma nella pratica tecnica può essere posta pari al tempo di ritardo τ_r del bacino.

Nell'ambito dei criteri concettuali, i metodi razionali e quelli geomorfoclimatici si differenziano fra loro essenzialmente per la differente modalità con cui essi stimano il coefficiente di piena *c* e il tempo di ritardo τ_r del bacino.

3.2.1. Calcolo del coefficiente di piena e del tempo di ritardo

Il rapporto VAPI-Campania (Rossi e Villani, 1995) ha mostrato che, dal punto di vista della conducibilità idraulica dei principali litotipi affioranti, durante i fenomeni di piena si possono essenzialmente individuare due distinti complessi idrogeologici che contribuiscono alla risposta idrologica del bacino:

- il primo, ad elevata conducibilità idraulica, comprende tutte le rocce carbonatiche intensamente fratturate;
- il secondo, invece, comprende tutti gli altri litotipi, a cui si attribuisce una conducibilità idraulica in media nettamente minore rispetto a quella delle rocce carbonatiche appartenenti al primo complesso.

Sempre ai fini del fenomeno di formazione dei deflussi di piena, è stato altresì mostrato che anche la copertura boschiva esercita una certa influenza, che essenzialmente dipende dalla forma della funzione di conducibilità idraulica del mezzo poroso interessato.

Allorquando si suddivide un bacino idrografico in due complessi omogenei dal punto di vista idrogeologico, non è considerata la copertura boschiva e la distinzione riguarda:

- le aree a modesta permeabilità, indicate con A_{imp},
- le aree permeabili, indicate con A_p ($= A - A_{imp}$).

Invece, nella suddivisione di un bacino idrografico in tre distinti complessi, ciascuno omogeneo dal punto di vista idrogeologico, si tiene conto anche della presenza di copertura boschiva e si considerano:

- aree permeabili senza copertura boschiva, indicate con A_1;
- aree a modesta permeabilità, indicate con A_2;
- aree permeabili con copertura boschiva, indicate con A_3.

Il metodo razionale (*MR*) e quello geomorfoclimatico (*MG*) che adottano la suddivisione di un bacino in due soli complessi idrogeologici saranno di seguito indicati con MR_2 e MG_2.

Il metodo razionale (*MR*) e quello geomorfoclimatico (*MG*) che invece adottano la suddivisione di un bacino in tre distinti complessi idrogeologici saranno di seguito indicati con MR_3 e MG_3.

3.2.1a. Metodo razionale MR_2

Nel caso del metodo razionale MR_2, la relazione (3-3) assume la forma:

$$\mu(Q_c) = c^* \{ f_a(A, \tau_r) \, \mu[i(\tau_r)] \} \frac{A}{3{,}6} \qquad (3\text{-}3a)$$

e i parametri c^* e τ_r della relazione (3-3a) sono calcolati tramite le seguenti relazioni:

$$c^* = c_p^* \frac{A_p}{A} + c_{imp}^* \frac{A_{imp}}{A} \qquad (3\text{-}4)$$

$$\tau_r = \frac{c_p^*}{c^*} \frac{A_p}{A} \frac{1{,}25\sqrt{A_p}}{3{,}6\, cl_p} + \frac{c_{imp}^*}{c^*} \frac{A_{imp}}{A} \frac{1{,}25\sqrt{A_{imp}}}{3{,}6\, cl_{imp}} \qquad (3\text{-}5)$$

dove le aree sono espresse in km^2 e il tempo in ore. I coefficienti c_p^* e c_{imp}^* che compaiono nelle relazioni (3-4) e (3-5) hanno i seguenti significati e valori:

- c_p^*, coefficiente di piena dell'area permeabile = 0,09 ;
- c_{imp}^*, coefficiente di piena dell'area impermeabile = 0,38 .

Invece, i coefficienti cl_p e cl_{imp} che compaiono nella (3-5) hanno i seguenti significati e valori:

- cl_p, celerità media di propagazione dell'onda di piena nel reticolo idrografico relativa alle aree permeabili = 0,25 m/s ;
- cl_{imp}, celerità media di propagazione dell'onda di piena nel reticolo idrografico relativa alle aree impermeabili = 1,70 m/s .

3.2.1b. Metodo razionale MR_3

Nel caso del metodo razionale MR_3, i parametri c^* e τ_r della relazione (3-3) che caratterizzano la risposta del bacino sono calcolati tramite le relazioni:

$$c^* = c_1^* \frac{A_1}{A} + c_2^* \frac{A_2}{A} + c_3^* \frac{A_3}{A} \tag{3-6}$$

$$\tau_r = \frac{c_1^*}{c^*} \frac{A_1}{A} \frac{1{,}25\sqrt{A_1}}{3{,}6\, cl_1} + \frac{c_2^*}{c^*} \frac{A_2}{A} \frac{1{,}25\sqrt{A_2}}{3{,}6\, cl_2} + \frac{c_3^*}{c^*} \frac{A_3}{A} \frac{1{,}25\sqrt{A_3}}{3{,}6\, cl_3} \tag{3-7}$$

dove le aree sono espresse in km^2 e il tempo in ore. I coefficienti c_1^* e c_2^* delle relazioni (3-6) e (3-7) hanno i seguenti significati e valori:

- c_1^*, coefficiente di piena dell'area permeabile senza bosco = 0,29 ;
- c_2^*, coefficiente di piena dell'area praticamente impermeabile = 0,36 ;
- c_3^*, coefficiente di piena dell'area permeabile con bosco = 0,00 .

I coefficienti c_1 e c_2 che compaiono nella (3-7) hanno i seguenti significati e valori:

- cl_1, celerità media di propagazione dell'onda di piena nel reticolo idrografico relativa alle aree permeabili senza bosco = 0,23 m/s ;
- cl_2, celerità media di propagazione dell'onda di piena nel reticolo idrografico relativa alle aree impermeabili = 1,87 m/s .

3.2.1c. Metodo geomorfoclimatico MG_2

Nel caso del modello geomorfoclimatico *MG*, la relazione (3-3) assume la forma:

$$\mu(Q_c) = c_f\, \alpha(\tau_{cr}) \{ f_a(A, \tau_{cr})\, \mu[i(\tau_{cr})] \} \frac{A}{3{,}6} \tag{3-3b}$$

valutata in corrispondenza di una durata critica τ_{cr} del processo di formazione della piena. Il parametro c è determinato come prodotto del coefficiente di afflusso di piena c_f e del coefficiente $\alpha(\tau_{cr})$ di attenuazione della portata al colmo di piena, che tiene conto delle attenuazioni indotte sul picco di piena dalla propagazione e laminazione dell'onda di piena all'interno del reticolo idrografico.

Per la determinazione dei diversi termini della (3-3b) e quindi del calcolo di $\mu(Q_c)$, è stato sviluppato un codice di calcolo scritto in linguaggio FORTRAN. Insieme con l'area A del bacino e i parametri che identificano la legge di probabilità pluviometrica per la zona di interesse (v. Par. 3.2.2), il programma richiede che siano determinati il coefficiente di afflusso c_f e il tempo di ritardo τ_r del bacino.

Nel modello MG_2, il coefficiente di afflusso c_f è calcolato con la seguente relazione:

$$c_f = c_{fp}\frac{A_p}{A} + c_{fimp}\frac{A_{imp}}{A} \qquad (3\text{-}8)$$

dove le aree sono espresse in km^2. I coefficienti c_{fp} e c_{fimp} della relazione (3-8) hanno i seguenti significati e valori:

- c_{fp}, coefficiente di afflusso di piena dell'area permeabile = 0,13 ;
- c_{fimp}, coefficiente di afflusso dell'area impermeabile = 0,60 ,

mentre il tempo di ritardo τ_r è calcolato con la seguente relazione:

$$\tau_r = \frac{c_{fp}}{c_f}\frac{A_p}{A}\frac{1{,}25\sqrt{A_p}}{3{,}6\,cl_p} + \frac{c_{fimp}}{c_f}\frac{A_{imp}}{A}\frac{1{,}25\sqrt{A_{imp}}}{3{,}6\,cl_{imp}} \qquad (3\text{-}9)$$

dove le aree sono espresse in km^2 e il tempo in ore. Le celerità cl_p e cl_{imp} che compaiono nella (3-9) sono le medesime che identificano la relazione (3-5), ossia $cl_p = 0{,}25$ e $cl_{imp} = 1{,}7$.

Vale la pena ricordare che se si desidera evitare la complessità di applicare la (3-3b), il rapporto VAPI-Campania suggerisce di approssimarla nel modo seguente:

$$\mu(Q_c) = c_f\, a_c \left\{ f_a(A,\tau_r)\, \mu[i(\tau_r)] \right\} \frac{A}{3{,}6} \qquad (3\text{-}3c)$$

ponendo τ_{cr} pari al tempo di ritardo τ_r e valutando il parametro c come prodotto $c = c_f \times a_c$ del coefficiente c_f di afflusso di piena del bacino [calcolato mediante la (3-8)] e del coefficiente a_c di attenuazione *corretto* della portata al colmo di piena, che tiene conto della riduzione indotta sul valore

massimo della portata dai fenomeni di propagazione e laminazione dell'onda di piena all'interno del reticolo idrografico. Per il calcolo del coefficiente di attenuazione del colmo di piena a_c (che dipende in maniera complessa dalla forma della legge di probabilità pluviometrica e dalla risposta della rete idrografica e, fra l'altro, consente di tenere conto dell'errore che si commette nell'assumere che la durata critica del bacino, ossia la durata della pioggia che determina il massimo valore annuale della portata al colmo di piena, sia pari al tempo di ritardo del bacino medesimo), è stata proposta l'espressione:

$$a_c = \begin{cases} 0{,}60 & se \;\; 0{,}25 \le n' \le 0{,}45 \\ 0{,}65 & se \;\; 0{,}45 < n' \le 0{,}65 \end{cases} \quad \text{essendo} \quad n' = 1 + k_1 A - \frac{\beta \, \tau_r / d_c}{1 + \tau_r / d_c} \tag{3-10}$$

in cui A è la superficie del bacino (in km^2) e i parametri β (-) e d_c (in ore) sono quelli che descrivono la legge di probabilità pluviometrica per la zona di interesse (v. paragrafo 3.2.2), mentre si può porre $k_1 = 1{,}44 \cdot 10^{-4}$, se la superficie del bacino è in km^2 e il tempo è espresso in ore.

3.2.2d. Metodo geomorfoclimatico MG_3

Nel caso del metodo MG_3, il coefficiente di afflusso c_f del modello geomorfologico si calcola tramite la seguente relazione:

$$c_f = c_{f_1} \frac{A_1}{A} + c_{f_2} \frac{A_2}{A} + c_{f_3} \frac{A_3}{A} \tag{3-11}$$

dove le aree sono espresse in km^2. I coefficienti c_{f1} e c_{f2} della relazione (3-11) hanno i seguenti significati e valori:

- c_{f1}, coefficiente di afflusso di piena dell'area permeabile senza bosco = 0,42 ;
- c_{f2}, coefficiente di afflusso dell'area praticamente impermeabile = 0,56 ;
- c_{f3}, coefficiente di afflusso di piena dell'area permeabile con bosco = 0,00 .

Il tempo di ritardo τ_r è calcolato con la seguente relazione:

$$\tau_r = \frac{c_{f_1}}{c_f}\frac{A_1}{A}\frac{1{,}25\sqrt{A_1}}{3{,}6\,cl_1} + \frac{c_{f_2}}{c_f}\frac{A_2}{A}\frac{1{,}25\sqrt{A_2}}{3{,}6\,cl_2} + \frac{c_{f_3}}{c_f}\frac{A_3}{A}\frac{1{,}25\sqrt{A_3}}{3{,}6\,cl_3} \qquad (3\text{-}12)$$

dove le aree sono espresse in km^2 e il tempo in ore. Le celerità cl_1 e cl_2 che compaiono nella (3-12) sono le medesime che identificano la relazione (3-7), ossia $cl_1 = 0{,}23$ e $cl_2 = 1{,}87$

Come per il caso precedente, per la determinazione dei vari termini del modello geomorfoclimatico *MG* (3-3b) e quindi della portata indice $\mu(Q_c)$, si è utilizzato un codice di calcolo scritto in linguaggio FORTRAN.

3.2.2. Stima della legge di probabilità pluviometrica

Il valore medio dell'intensità di pioggia puntuale per una precipitazione che abbia una durata d proprio pari al tempo di ritardo τ_r o alla durata critica τ_{cr} del bacino può essere calcolato una volta definita la legge di probabilità pluviometrica puntuale rappresentativa del bacino oggetto di studio.

Per descrivere il legame fra precipitazione e durata della pioggia, la cosiddetta legge di probabilità pluviometrica, si adotta la seguente relazione:

$$\mu(h_d) = \mu(i_0)\frac{d}{\left(1 + d/d_c\right)^{\beta}} \qquad (3\text{-}13)$$

ove $\mu(h_d)$ è la media del massimo annuale di altezza di pioggia di durata d, mentre $\mu(i_0)$, d_c e β sono i parametri che caratterizzano la forma della relazione (3-13). In particolare, $\mu(i_0)$ rappresenta il limite dell'intensità di pioggia i per d che tende a zero, mentre d_c è una costante temporale legata alla durata media del processo di precipitazione per l'area in esame.

Nella (3-13), $\mu(h_d)$ è espresso in mm, d e d_c in ore e $\mu(i_0)$ in mm/ora.

Il parametro β può essere convenientemente messo in relazione con la quota z del punto considerato rispetto al livello medio del mare, tramite l'espressione:

$$\beta = (C - D \times z), \qquad (3\text{-}14)$$

essendo C e D dei coefficienti empirici da determinare con tecniche di regressione in base ai dati disponibili.

Il rapporto VAPI-Campania (Rossi e Villani, 1995) fornisce i parametri della legge di probabilità pluviometrica (Eq. 3-13) con riferimento a sei sottozone ritenute omogenee dal punto di vista pluviometrico (v. Figura 3-1).

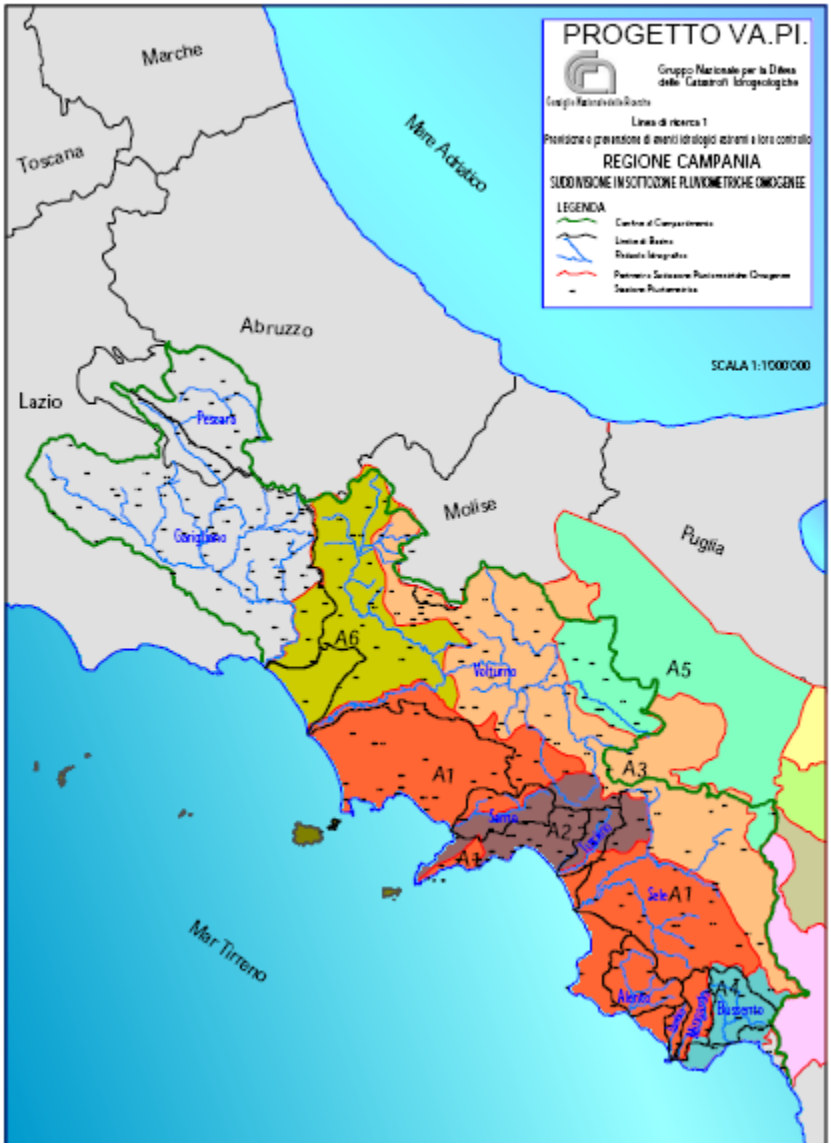


Figura 3-1. Sottozone pluviometriche omogenee proposte dal rapporto VAPI-Campania.

Il bacino del Fiume Sabato considerato in questo studio ricade interamente nella zona omogenea A2 (limitata dalla sezione ove è installato il pluviometro SIMI n. 3770, Serino sorg. Urciuoli), che è caratterizzata dai valori dei parametri riportati nella Tabella 3-3.

Tabella 3-3. Parametri della relazione (3-12) per l'area omogenea A2 (da Rossi e Villani,1995).

zona omogenea	$\mu(i_0)$ (mm/ora)	d_c (ore)	C (-)	$D\times10^{-5}$ (m^{-1})
A2	83,75	0,3312	0,7031	7,7381

Fissata la quota della sezione di chiusura del bacino a 356 m s.m.m., la legge di probabilità pluviometrica assunta nei calcoli è rappresentata in Figura 3-2.

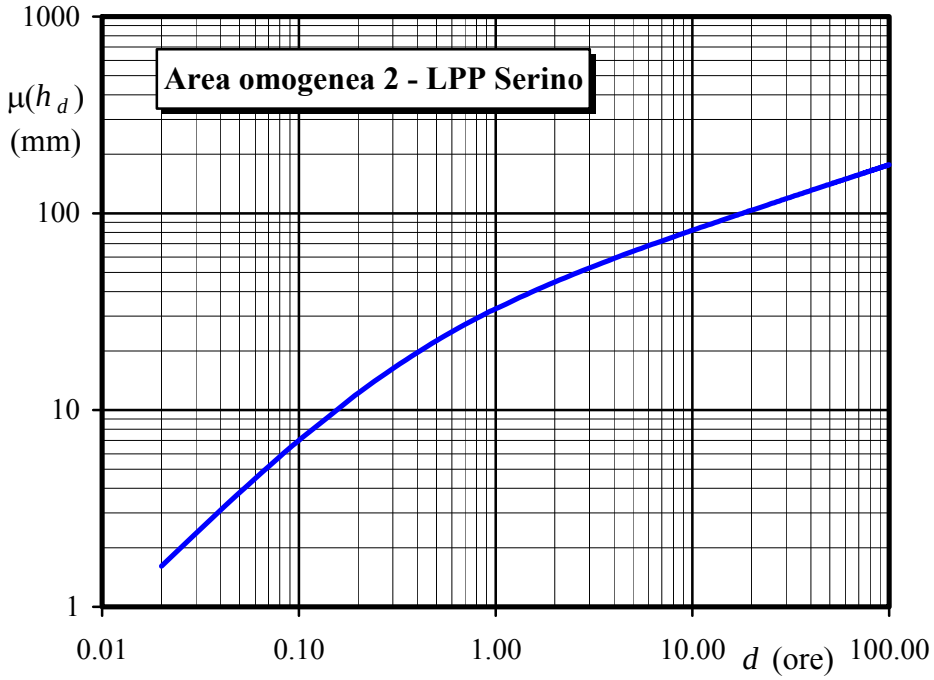


Figura 3-2. Legge di probabilità pluviometrica (LPP) per la sottozona A2 del rapporto VAPI-Campania e adottata in questo studio idrologico.

2.2.3 Calcolo del coefficiente di riduzione areale

In base agli studi svolti da Eagleson (1972) utilizzando dati di U.S. Weather Bureau ed alle analisi di Rossi e Villani (1995), il fattore di riduzione areale f_a dipende dall'area del bacino A e dalla durata della pioggia τ_* ed è valutato tramite la seguente espressione:

$$f_a(A,\tau_*) = 1-\left[1-\exp(-0{,}0021\,A)\right]\cdot\exp\left(-0{,}53\,\tau_*^{0{,}25}\right) \qquad (3\text{-}15)$$

con evidente significato dei simboli e valida per $A \le 2.000$ km^2 e $\tau_* \le 24$ ore.

Tabella 3-4. Coefficiente di piena e tempo di ritardo per il Fiume Sabato alla sezione ID=1, stimati con i metodi MR_2, MR_3, MG_2 e MG_3.

Fiume Sabato alla sezione ID=1										
Metodo MR_2	A_p (km^2)	A_{imp} (km^2)		A (km^2)	c_p^* (-)	c_{imp}^* (-)	cl_p (m/s)	cl_{imp} (m/s)	c^* (-)	τ_r (ore)
valori	26,4	17,2		43,6	0,09	0,38	0,25	1,70	0,204	2,52
Metodo MR_3	A_1 (km^2)	A_2 (km^2)	A_3 (km^2)	A (km^2)	c_1^* (-)	c_2^* (-)	cl_1 (m/s)	cl_2 (m/s)	c^* (-)	τ_r (ore)
valori	2,80	17,2	23,6	43,6	0,29	0,36	0,23	1,87	0,161	0,974
Metodo MG_2	A_p (km^2)	A_{imp} (km^2)		A (km^2)	c_{fp} (-)	c_{fimp} (-)	cl_p (m/s)	cl_{imp} (m/s)	c_f (-)	τ_r (ore)
valori	26,4	17,2		43,6	0,13	0,60	0,25	1,70	0,315	2,42
Metodo MG_3	A_1 (km^2)	A_2 (km^2)	A_3 (km^2)	A (km^2)	c_{f1} (-)	c_{f2} (-)	cl_1 (m/s)	cl_2 (m/s)	c_f (-)	τ_r (ore)
valori	2,80	17,2	23,6	43,6	0,42	0,56	0,23	1,87	0,248	0,961
Legenda: A_p = area permeabile ; A_{imp} = area impermeabile . A_1 = area permeabile senza bosco ; A_2 = area impermeabile ; A_3 = area permeabile con bosco .										

2.2.4 Determinazione della piena indice con i diversi modelli adottati

In questa sezione sono riportati i risultati dei calcoli eseguiti per la stima della piena indice del bacino del Fiume Sabato alla sezione ID=1 e alla sezione di chiusura ID=2.

Con riferimento alla sezione ID=1, la Tabella 3-4 elenca i valori del coefficiente di piena e del tempo di ritardo τ_r calcolati utilizzando i quattro metodi considerati in questo studio. Le maggiori differenze fra i risultati offerti da questi quattro metodi si riscontrano per la stima del tempo di ritardo, con valori compresi fra circa 1 ora e 2,5 ore, mentre il coefficiente di piena stimato varia fra 0,16 e 0,32.

Tabella 3-5. Portata di piena indice per il bacino del Fiume Sabato alla sezione ID=1, stimata con i metodi MR_2, MR_3, MG_2 e MG_3 (per MR $\tau_*=\tau_r$; per MG $\tau_*=\tau_{cr}$).

Fiume Sabato alla sezione di chiusura ID=1					
Metodo	τ_* (*ore*)	$\mu[h(\tau_*)]$ (*mm*)	$f_a(A,\tau_*)$ (-)	$\mu[h_A(\tau_*)]$ (*mm*)	$\mu(Q_c)$ ($m^3\ s^{-1}$)
MR_2	2,52	50,40	0,955	48,13	47,2
MR_3	0,974	32,74	0,948	31,05	62,0
MG_2	3,00	54,06	0,956	51,68	48,1
MG_3	1,50	40,25	0,951	38,28	**63,4**

Sempre per la sezione ID=1, la Tabella 3-5 riporta i valori della piena indice $\mu(Q_c)$ calcolati con i quattro metodi.

Tabella 3-6. Coefficiente di piena e tempo di ritardo per il Fiume Sabato alla sezione di chiusura ID=2, stimati con i metodi MR_2, MR_3, MG_2 e MG_3.

Fiume Sabato alla sezione di chiusura ID=2										
Metodo MR_2	A_p (km^2)	A_{imp} (km^2)		A (km^2)	c_p^* (-)	c_{imp}^* (-)	cl_p (m/s)	cl_{imp} (m/s)	c^* (-)	τ_r (ore)
valori	38,6	24,8		63,4	0,09	0,38	0,25	1,70	0,203	3,07
Metodo MR_3	A_1 (km^2)	A_2 (km^2)	A_3 (km^2)	A (km^2)	c_1^* (-)	c_2^* (-)	cl_1 (m/s)	cl_2 (m/s)	c^* (-)	τ_r (ore)
valori	3,80	24,8	34,8	63,4	0,29	0,36	0,23	1,87	0,158	1,15
Metodo MG_2	A_p (km^2)	A_{imp} (km^2)		A (km^2)	c_{fp} (-)	c_{fimp} (-)	cl_p (m/s)	cl_{imp} (m/s)	c_f (-)	τ_r (ore)
valori	38,6	24,8		63,4	0,13	0,60	0,25	1,70	0,314	2,94
Metodo MG_3	A_1 (km^2)	A_2 (km^2)	A_3 (km^2)	A (km^2)	c_{f1} (-)	c_{f2} (-)	cl_1 (m/s)	cl_2 (m/s)	c_f (-)	τ_r (ore)
valori	3,80	24,8	34,8	63,4	0,42	0,56	0,23	1,87	0,244	1,13
Legenda: A_p = area permeabile ; A_{imp} = area impermeabile . A_1 = area permeabile senza bosco ; A_2 = area impermeabile ; A_3 = area permeabile con bosco .										

Con riferimento alla sezione di chiusura ID=2, invece, la Tabella 3-6 elenca i valori del coefficiente di piena e del tempo di ritardo τ_r calcolati utilizzando i quattro metodi considerati in questo studio. Le maggiori differenze fra i risultati offerti da questi quattro metodi si riscontrano ancora per la stima del tempo di ritardo, con valori compresi fra circa 1,1 ora e 3 ore, mentre il coefficiente di piena stimato varia fra 0,16 e 0,31.

Per la sezione di chiusura ID=2, infine, la Tabella 3-7 riporta i valori della piena indice $\mu(Q_c)$ calcolati con i quattro metodi.

Tabella 3-7. Portata di piena indice per il bacino del Fiume Sabato alla sezione ID=2, stimata con i metodi MR_2, MR_3, MG_2 e MG_3 (per MR $\tau_*=\tau_r$; per MG $\tau_*=\tau_{cr}$).

Fiume Sabato alla sezione di chiusura ID=2					
Metodo	τ_* (*ore*)	$\mu[h(\tau_*)]$ (*mm*)	$f_a(A,\tau_*)$ (-)	$\mu[h_A(\tau_*)]$ (*mm*)	$\mu(Q_c)$ ($m^3\ s^{-1}$)
MR_2	3,07	53,29	0,938	49,99	58,4
MR_3	1,15	34,96	0,928	32,44	78,8
MG_2	3,75	57,57	0,940	54,11	59,3
MG_3	1,50	39,57	0,931	36,84	**80,2**

2.3 Portate di piena per assegnati periodi di ritorno

I calcoli idrologici, eseguiti anche seguendo metodiche differenti fra loro, hanno consentito di definire valori della portata indice che scartano fra loro perché essenzialmente affetti da vari tipi di errori (errori di misura, incertezze nel modello, limitatezza delle serie di dati disponibili, ecc.).

Con riferimento agli obiettivi di questa relazione di consulenza e a vantaggio di sicurezza, si ritiene congruo assumere come portata indice di riferimento per i successivi calcoli i valori indicati in Tabella 3-8.

Tabella 3-8. Portata di piena indice $\mu(Q_c)$ assegnata per il bacino del Fiume Sabato alle due sezioni di interesse

ID	$\mu(Q_c)$ ($m^3\ s^{-1}$)
1	63,5
2	80,5

Pertanto, per il Fiume Sabato alla sezione ID=1, in Tabella 3-9 sono riportate le portata al colmo $Q_{c,T}$ per alcuni periodi di ritorno T ritenuti più significativi per il caso di studio, ottenute moltiplicando il valore $\mu(Q_c)$ = 63,5 m^3/s per i diversi valori del fattore probabilistico di crescita $\kappa_{T,Q}$ per le portate al colmo di piena.

Tabella 3-9. Portate di piena $Q_{c,T}$ stimate per il bacino del Fiume Sabato alla sezione ID=1 e per assegnati valori del periodo di ritorno T.

Sezione ID=1							
***T* (anni)**	5	10	20	30	50	100	300
$\kappa_{T,Q}$	1,292	1,637	2,032	2,284	2,617	3,080	3,826
$Q_{c,T}$ **(m^3 s^{-1})**	82,0	103,9	129,0	145,1	166,2	195,6	242,9

Per il Fiume Sabato alla sezione di chiusura ID=2, invece, la Tabella 3-10 riporta le portata al colmo $Q_{c,T}$ per alcuni periodi di ritorno T ritenuti più significativi per il caso di studio, ottenute moltiplicando il valore $\mu(Q_c)$ = 80,5 m^3/s per i diversi valori del fattore probabilistico di crescita $\kappa_{T,Q}$ per le portate al colmo di piena.

Tabella 3-10. Portate di piena $Q_{c,T}$ stimate per il bacino del Fiume Sabato alla sezione di chiusura ID=2 e per assegnati valori del periodo di ritorno T.

Sezione di chiusura ID=2							
***T* (anni)**	5	10	20	30	50	100	300
$\kappa_{T,Q}$	1,292	1,637	2,032	2,284	2,617	3,080	3,826
$Q_{c,T}$ **(m^3 s^{-1})**	104,0	131,8	163,6	183,9	210,6	248,0	308,0

2.4. Calcolo dei volumi di piena

Per la delimitazione delle zone del Comune di Serino che eventualmente possono essere soggette a fenomeni di inondazione sono stati determinati i volumi di piena che, con assegnata frequenza, transitano nella sezione terminale del bacino oggetto di indagine (indicata con ID=2). Per completezza, analoghe valutazioni sono state eseguite con riferimento alla sezione ID=1.

In accordo con il procedimento adottato per il calcolo delle portate di piena corrispondenti ad assegnato periodo di ritorno, anche la valutazione dei volumi di piena sarà condotta seguendo un approccio prettamente probabilistico (Brath et al., 1992; Rossi e Villani, 1995). In pratica, la caratterizzazione probabilistica dei volumi di piena utilizza una schematizzazione semplificata della forma dell'idrogramma di piena, conservando però le frequenze di occorrenza dei volumi.

Se si indica con $Q_{D,T}$ il massimo valore annuale della portata media in una durata D, si può porre:

$$Q_{D,T} = \kappa_{T,Q}\ \mu(Q_D) \qquad (3\text{-}16),$$

con $\kappa_{T,Q}$ definito al Par. 3.1, mentre il valore medio $\mu(Q_D)$ è individuato mediante l'espressione:

$$\mu(Q_D) = r(D)\ \mu(Q) \qquad (3\text{-}17).$$

Il parametro $r(D)$ è il cosiddetto *fattore di riduzione dei colmi di piena*. Seguendo l'approccio geomorfoclimatico del Par. 3.2, $r(D)$ è definito dalla seguente espressione:

$$r(D) = \left(1 + \frac{\alpha}{\tau_r} D\right)^{(\nu - 1)} \qquad (3\text{-}18)$$

ove i coefficienti α e ν sono calcolati tramite le relazioni:

$$\nu = 1 + K_1 A - \frac{\beta\ \tau_r / d_c}{1 + \tau_r / d_c} \qquad (3\text{-}19);$$

$$\alpha = \frac{1}{2}\left(1 - \frac{\nu}{2}\right) \qquad (3\text{-}20)$$

con A superficie del bacino (in km^2) e K_1 una costante pari a $1{,}44 \cdot 10^{-4}$.

Utilizzando i dati ottenuti per il modello MG_3 ed essendo il tempo di ritardo τ_r = 1,13 ore, si ottiene:

$$\nu = 0{,}487 \quad ; \quad \alpha = 0{,}378\ .$$

Poiché studi condotti su alcuni bacini della Campania hanno mostrato che la durata critica dell'idrogramma di piena schematico da considerare in questo tipo di analisi risulta all'incirca pari a $D = \tau_r/\alpha$ = 1,13/0,378 = 2,99 ore, in Tabella 3-11 sono riportati i valori $Q_{D,T}$ per i periodi di ritorno T=30, 100 e 300 anni, nonché i corrispondenti volumi di piena $W_{D,T} = Q_{D,T} \times D$. Con riferimento al tempo di ritardo τ_r, vale la pena osservare che tale parametro non può ritenersi costante per un certo bacino, ma

in generale varia da evento ad evento principalmente in funzione della portata al colmo di piena. Tuttavia, è stato mostrato che per valori elevati di T, come accade in questo studio, si può assumere che il tempo di ritardo τ_r sia pressoché costante e si è posto $D \approx 3$ ore.

Tabella 3-11. Portata media $Q_{D,T}$ e volumi di piena $W_{D,T}$ corrispondenti ad assegnati periodi di ritorno T, per la sezione di chiusura ID=2

Sezione di chiusura ID=2			
	Tempo di ritorno *T*		
	T = 30 anni	T = 100 anni	T = 300 anni
$\boldsymbol{Q_{D,T}}$ **(m^3/s)**	128,9	173,8	215,9
$\boldsymbol{W_{D,T}}$ **(10^6 m^3)**	1,39	1,88	2,33

Per la sezione 1 del Fiume Sabato, invece, essendo il tempo di ritardo τ_r = 0,961 ore, si ottiene:

$\nu = 0{,}511$; $\alpha = 0{,}372$; $D = \tau_r/\alpha = 2{,}58$ ore

e quindi, assunto $D \approx 2{,}6$ ore, la Tabella 3-12 riporta i risultati ottenuti per tale sezione.

Tabella 3-12. Portata media $Q_{D,T}$ e volumi di piena $W_{D,T}$ corrispondenti ad assegnati periodi di ritorno T, per la sezione ID=1

Sezione ID=1			
	Tempo di ritorno *T*		
	T = 30 anni	T = 100 anni	T = 300 anni
$\boldsymbol{Q_{D,T}}$ **(m^3/s)**	103,4	139,4	173,1
$\boldsymbol{W_{D,T}}$ **(10^6 m^3)**	0,968	1,30	1,62

4. STUDIO IDRAULICO

In questo paragrafo sono presentati e discussi i risultati dello studio rivolto alla valutazione del regime idraulico per un tratto significativo del Fiume Sabato rispetto ai fenomeni di piena, con l'identificazione delle zone maggiormente interessate da fenomeni di esondazione di acqua dall'alveo abituale del fiume e inondazione dei terreni limitrofi per assegnati eventi di piena.

4.1. Indirizzi normativi dell'Autorità di Bacino dei fiumi Liri-Garigliano e Volturno

Il Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 29/11/1998 "*Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del Decreto Legge 11 giugno 1998, n. 180*" è il documento da considerare come linee guida per la definizione e mappatura del rischio idraulico.

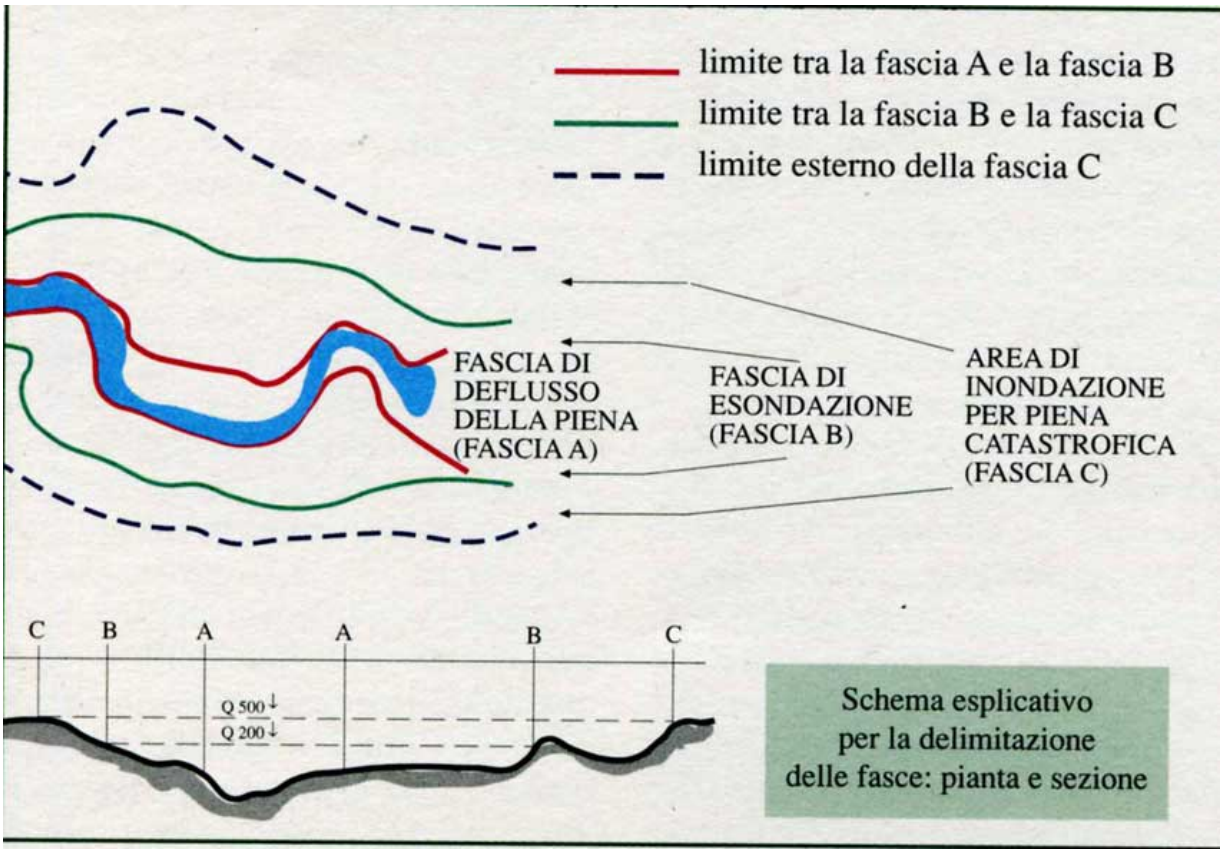


Figura 4-1. Schema esplicativo per la delimitazione delle fasce fluviali.

In generale, per la valutazione del rischio causato da fenomeni di carattere naturale il D.P.C.M. fa riferimento alla formulazione di Varnes (1984) secondo cui il rischio dipende dai seguenti tre fattori principali:

- la pericolosità o probabilità di accadimento dell'evento calamitoso;
- il valore degli elementi a rischio (intesi come persone, beni localizzati, patrimonio ambientale);
- la vulnerabilità degli elementi a rischio (che dipende sia dalla capacità degli stessi di sopportare le sollecitazioni esercitate dall'evento sia dall'intensità dell'evento stesso).

Il D.P.C.M. del 1998 prescrive che un territorio sia perimetrato in base ad aree a cui competono tre distinte probabilità di evento (Classi di Pericolosità):

- aree ad Alta Probabilità di esondazione, con tempi di ritorno di 20-50 anni;
- aree a Moderata Probabilità di esondazione, con tempi di ritorno di 100-200 anni;
- aree a Bassa Probabilità di esondazione, con tempi di ritorno di 300-500 anni.

e identifica quattro diversi livelli di rischio, come si vedrà meglio nel seguito.

Vale la pena qui osservare che le *fasce fluviali*, da associare ad assegnate probabilità di inondazione, sono utilizzate per fissare i vincoli da inserire all'uso del territorio, l'identificazione dei diversi livelli di *rischio* è utile per stabilire le priorità degli interventi nel territorio considerato.

4.1.1. Fasce Fluviali

Si è soliti in genere suddividere una regione fluviale, ossia quella porzione di territorio che è soggetta a fenomeni idraulico del corso d'acqua ed è influenzata dai suoi caratteri naturalistici e paesaggistici, in zone contraddistinte da assegnate particolarità: l'alveo di piena ordinaria, l'alveo di piena standard, le aree di espansione naturale della piena, le aree con elementi di interesse naturalistico, paesaggistico, storico, artistico e archeologico. Tali zone consentono poi di delimitare le cosiddette fasce di pertinenza fluviale.

In relazione agli obiettivi che si prefigge il presente studio, è opportuno riportare di seguito i criteri che l'Autorità di Bacino nazionale dei fiumi Liri-Garigliano e Volturno (AdB-LGV) adotta per la classificazione delle fasce fluviali:

- *alveo di piena ordinaria* – l'alveo di piena ordinaria, che ai sensi dell'art. 822 del Codice Civile appartiene al Demanio Pubblico, è la parte della regione fluviale interessata dal deflusso idrico in condizioni di piena ordinaria, corrispondente al periodo di ritorno $T = 2–5$ anni;

  - nel caso di corsi d'acqua di pianura, l'alveo di piena ordinaria coincide con la savanella, ossia con la fascia fluviale compresa fra le sponde dell'alveo incassato;
  - nel caso di alvei alluvionati, invece, l'alveo di piena ordinaria coincide con il greto attivo, interessato (effettivamente nella fase attuale, oppure storicamente) dai canali effimeri in cui defluisce la piena ordinaria;
- *alveo di piena standard* (*Fascia A*) – la *Fascia A* è definita come l'alveo di piena che assicura il libero deflusso della piena standard, di norma assunta a base del dimensionamento delle opere di difesa; il PSAI-Ri di AdB-LGV assume come *piena standard* quella corrispondente ad un periodo di ritorno pari a 100 anni; il limite di progetto fra la Fascia A e la successiva Fascia B coincide con le opere idrauliche longitudinali programmate per la difesa del territorio; allorquando tali opere entreranno in funzione, i confini della Fascia A si intenderanno definitivamente coincidenti con il tracciato dell'opera idraulica realizzata e la delibera del Comitato Istituzionale di presa d'atto del collaudo dell'opera avrà valore come adozione di variante del Piano Stralcio per il tratto in questione;
- *fascia di esondazione* (*Fascia B*) – la *Fascia B* comprende le aree inondabili dalla piena standard, eventualmente contenenti al loro interno sottofasce inondabili con periodo di ritorno T< 100 anni. In particolare, si considerano le seguenti tre sottofasce:
  - la *sottofascia B1* è quella compresa tra l'alveo di piena e la linea più esterna fra la congiungente l'altezza idrica h = 30 cm delle piene con periodo di ritorno T = 30 anni e altezza idrica h = 90 cm delle piene con periodo di ritorno T = 100 anni;
  - la *sottofascia B2* è quella compresa fra il limite della Fascia B1 e quello dell'altezza idrica h =30 cm delle piene con periodo di ritorno T = 100 anni;
  - la *sottofascia B3* è quella compresa fra il limite della Fascia B2 e quello delle piene con periodo di ritorno T = 100 anni;
- *fascia di inondazione per piena d'intensità eccezionale* (*Fascia C*) – è quella interessata dalla piena relativa a T = 300 anni o dalla piena storica nettamente superiore alla piena di progetto.

In pratica, la *Fascia A* assicura il libero deflusso della piena standard, di norma assunta a base del dimensionamento delle opere di difesa. Tuttavia, sono escluse dall'alveo di piena (*Fascia A*) le aree in cui i tiranti idrici h siano modesti, in particolare inferiore ad 1 m, garantendo nel contempo che l'alveo di piena sia capace di trasportare almeno l'80% della piena standard.

Nella *Fascia B*, e nelle sue sottozone, si devono attuare adeguate misure di salvaguardia per le aree che producono un significativo effetto di laminazione (volume di invaso non trascurabile, al di sopra della sezione di uscita dei deflussi di piena). La Fascia B limita i nuovi insediamenti e assume un carattere di fascia fluviale di carattere naturalistico.

La fascia inondabile della piena eccezionale, Fascia C, è quella interessata dalla piena relativa a T = 300 anni o dalla piena storica nettamente superiore alla piena di progetto.

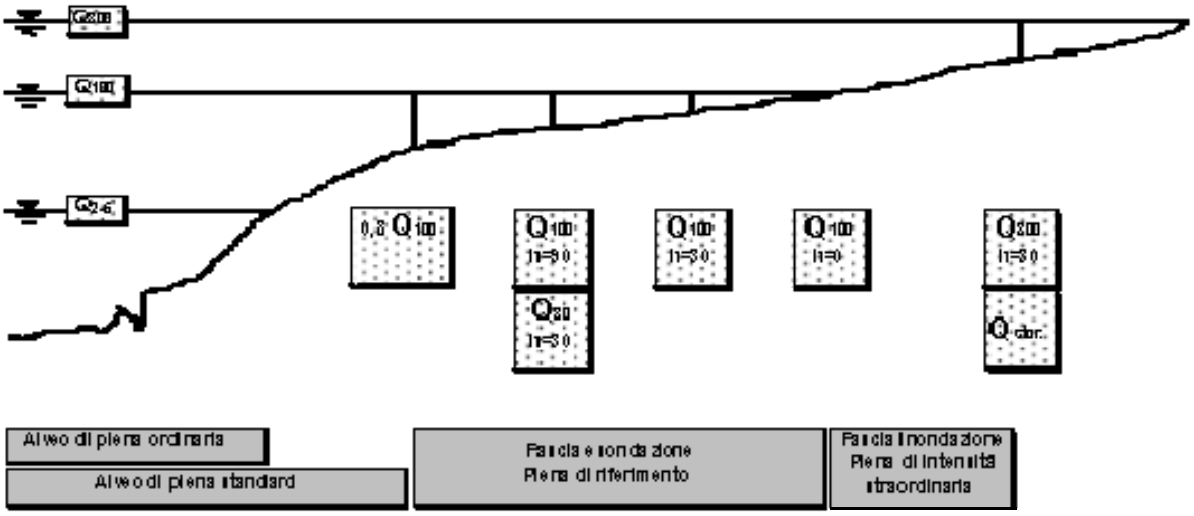


Figura 4-2. Schema di identificazione delle fasce fluviali per l'AdB-LGV.

4.1.2. Rischio Idraulico

E' ormai consolidata e sovente applicata la definizione generale di rischio, causato da fenomeni di carattere naturale, proposta da Varnes (1984) e che, in linea del tutto generale, assume come aree vulnerabili per inondazione quelle aree potenzialmente interessate da fenomeni di esondazione del fiume che potrebbero arrecare danno alle persone e ai beni. Ogni singola manifestazione del fenomeno idraulico temuto costituisce un evento di assegnata pericolosità e in una certa zona vulnerabile possono identificarsi gli elementi a rischio, ossia le persone e i beni, che possono subire danni quando si verifica l'evento considerato.

E' innanzi tutto necessario introdurre i concetti e significati dei termini "*pericolosità*", "*vulnerabilità*" e "*rischio*", insieme con i parametri che ne consentono la quantificazione:

- la *pericolosità H* (*hazard*) esprime la probabilità che in una certa zona si verifichi un evento dannoso di assegnata intensità entro un determinato periodo di tempo (che, ad esempio, può essere il periodo di ritorno *T*); essa rappresenta la probabilità che in un generico intervallo temporale *t* si verifichi almeno un evento calamitoso: $H_t = 1 - (1 - 1/T)^t$; quando non si tiene conto della variabile "tempo" si parla più propriamente di *suscettibilità*;
- il *valore esposto E* indica l'elemento (o gli elementi) che deve (devono) sopportare l'evento critico e può essere espresso dal numero di presenze umane oppure dal valore delle risorse naturali ed economiche presenti, esposte ad un determinato pericolo (può essere quindi espresso in termini monetari oppure di numero o di quantità di unità esposte);
- la *vulnerabilità V* indica la suscettibilità (l'attitudine) di una determinata "componente ambientale" (ad esempio, la popolazione umana, gli edifici, le infrastrutture, ecc.) a subire danni per effetto dell'intensità dell'evento; essa dunque esprime il grado di perdite di un certo elemento, o di una serie di elementi, risultante dal verificarsi di un fenomeno di una assegnata "magnitudo", espressa in una scala che varia da zero (0 = nessun danno) ad uno (1 = distruzione o perdita totale);
- il *danno D* rappresenta il grado previsto di perdita, di persone e/o beni, in conseguenza di un particolare evento calamitoso; il *danno effettivo* D_{eff} dipende sia dal *valore esposto* sia dalla *vulnerabilità*, ossia indica la percentuale del valore (esposto) complessivo degli elementi presenti sul territorio che andrà perduto nel caso si dovesse verificare l'evento catastrofico;
- il *rischio R*, infine, esprime il numero atteso di perdite di vite umane, di feriti, di danni alle proprietà, di distruzione di attività economiche o di risorse naturali, causati da un assegnato evento calamitoso; il rischio è dunque il prodotto della probabilità di accadimento di un evento per le dimensioni del danno atteso.

Pertanto, nell'ipotesi che ci sia linearità di fenomeni fra loro anche indipendenti, il rischio è definito in termini analitici dalla seguente espressione:

$$R = H \times D_{eff} \tag{4-1a}$$

e poiché risulta $D_{eff} = E \times V$, si può anche scrivere:

$$R = H \times D_{eff} = H \times E \times V \tag{4-1b}$$

vale a dire che il rischio da associare ad un determinato evento dannoso dipende dalla intensità e dalla probabilità di accadimento dell'evento, dal valore esposto degli elementi che con l'evento interagiscono, nonché dalla loro vulnerabilità.

Ai sensi del D.P.C.M. 29/09/1998, che tiene conto del danno atteso sia all'ambiente sia agli elementi antropici, si identificano le seguenti classi di rischio idraulico e idrogeologico a gravosità decrescente:

R4 – rischio molto elevato, per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici e alle infrastrutture, danni al patrimonio culturale, la distruzione di attività socio-economiche;

R3 – rischio elevato, per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socioeconomiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale;

R2 – rischio medio, per il quale sono possibili danni minori agli edifici e alle infrastrutture che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e lo svolgimento delle attività socio-economiche;

R1 – rischio moderato, per il quale il quale i danni sociali, economici e al patrimonio ambientale sono da ritenere marginali;

Per la complessità che caratterizza la determinazione del rischio e la mancanza di precise indicazioni normative a livello nazionale (v. D.P.C.M. 29/09/1998, punto 2.1 - Criteri generali), non è stato ancora stabilito un criterio univoco per la valutazione dei singoli fattori che definiscono una classe di rischio idraulico (pericolosità, valore esposto, vulnerabilità e danno) e quindi le diverse Autorità di Bacino in genere individuano autonomamente e adottano dei criteri di valutazione di tali parametri ritenuti idonei per il loro rispettivo territorio di competenza.

In termini del tutto generali, le alluvioni hanno origine dalle particolari caratteristiche che il deflusso delle acque assume in un corso d'acqua e per una valutazione degli effetti che esso può produrre hanno importanza la velocità della corrente idrica [elevata e molto prossima a quella del filone centrale nella fascia più prossima all'alveo (*Fascia A* e *Fascia B*) e molto più ridotta nelle fasce più esterne (*Fascia B2* e *Fascia B3*)] e di conseguenza gli ostacoli, la loro posizione in una delle fasce, la loro forma e disposizione, la loro entità e, nel caso di piccolo agglomerato urbano, la loro mutua disposizione rispetto alla direzione della corrente, e dunque devono essere considerati per l'opposizione effettiva al deflusso della corrente di piena nelle sue diverse fasce.

Come già menzionato in precedenza, l'Autorità di Bacino nazionale dei fiumi Liri-Garigliano e Volturno (AdB-LGV) ha definito la pericolosità *H* non solo in base al periodo di ritorno *T*, ma anche rispetto al tirante idrico *h*. In termini spaziali, l'espressione della pericolosità è fornita dalle fasce di fluviali, descritte poco sopra e che rappresentano il limite raggiungibile dalle acque per un determinato evento di piena. L'attribuzione del valore alla pericolosità avviene tramite i periodi di ritorno.

La vulnerabilità degli elementi a rischio dipende dalla loro capacità di sopportare le sollecitazioni esercitate dall'evento sia dall'intensità dell'evento stesso. Nel caso del rischio idraulico si considera la vulnerabilità per intensità che rappresenta la sensibilità all'evento che l'area presa in considerazione possiede rispetto al danno materiale che i beni in essa contenuti possono subire per effetto della intensità dell'evento stesso (altezza del tirante idrico). La determinazione del valore esposto è ricondotta alla sola presenza o assenza del bene (aree pericolose a rischio e aree pericolose senza rischio). In relazione alla individuazione delle fasce di pericolosità e vulnerabilità nonché alle caratteristiche e tipologie delle aree esposte al pericolo di inondazione (valore esposto), sono poi identificate e perimetrate le aree da associare ai diversi livelli di rischio.

In definitiva, fissate le condizioni di rischio accettabile, sovrapponendo le diverse classi di pericolosità (fasce A, B1, B2 e B3) e di danno potenziale (D1, D2, D3 e D4), vengono individuati i diversi livelli di rischio R1, R2, R3 e R4 tramite una combinazione matriciale della pericolosità di esondazione e del danno.

Per quel che riguarda il rischio idraulico, il PSAI individua le zone da assoggettare a vincolo in relazione alla probabilità di pericolo, individuando le tre distinte fasce fluviali, *Fascia A*, *Fascia B* e *Fascia C*, a cui sono assegnate le norme indispensabili e necessarie a disciplinare l'uso del territorio:

1) *Fascia A*: in questa fascia il Piano persegue gli obiettivi di assicurare il deflusso della piena di riferimento, di garantire il mantenimento e/o il recupero delle condizioni di equilibrio dinamico dell'alveo, di favorire ovunque possibile l'evoluzione naturale del fiume in rapporto alle esigenze di stabilità delle difese idrauliche e delle opere d'arte. Nella *Fascia A* sono vietati:
    a. qualunque trasformazione dello stato dei luoghi, sotto l'aspetto morfologico, idraulico, infrastrutturale ed edilizio;
    b. l'apertura di discariche pubbliche o private, anche se provvisorie, impianti di smaltimento o trattamento di rifiuti solidi, il deposito a cielo aperto di qualunque materiale o sostanza inquinante pericolosa /ivi incluse autovetture, rottami, materiali edili e similari);
    c. gli impianti di depurazione di acque reflue di qualunque provenienza, ad esclusione dei

collettori di convogliamento e di scarico dei reflui stessi;

d. qualsiasi tipo di coltura agraria sia erbacee che arborea e l'uso di antiparassitari, diserbanti e concimi chimici per la zona di rispetto di 10 m di ampiezza, misurata a partire dal ciglio della sponda, al fine della ricostruzione di una zona di vegetazione ripariale.

Nella *Fascia A* è inoltre vietata l'escavazione e/o il prelievo, in qualunque forma o quantità, di sabbie, ghiaie e di altri materiali litoidi. In questa fascia sono in particolare sottoposte a tutela e salvaguardia le zone umide, zone di riserva e zone con vegetazione naturale.

2) *Fascia B*: in questa fascia il Piano persegue gli obiettivi di mantenere e migliorare le condizioni di funzionalità idraulica ai fini principali dell'invaso e della laminazione delle piene, nonché di conservare e migliorare le caratteristiche naturali ed ambientali. Nella *Fascia B*, sono vietati:

   a. l'apertura di discariche pubbliche o private, anche se provvisorie, impianti di smaltimento o trattamento di rifiuti solidi, il deposito a cielo aperto di qualunque materiale o sostanza inquinante o pericolosa /ivi incluse autovetture, rottami, materiali edili e similari);
   b. gli impianti di depurazione di acque reflue di qualunque provenienza, ad esclusione dei collettori di convogliamento e di scarico dei reflui stessi.

   Nella *Fascia B* è inoltre vietata l'escavazione e/o il prelievo, in qualunque forma o quantità, di sabbie, ghiaie e di altri materiali litoidi. In questa fascia sono in particolare sottoposte a tutela e salvaguardia le zone umide, zone di riserva e zone con vegetazione naturale.

   Nell'ambito della *Fascia B*, si distinguono le seguenti sotto-fasce:

   - *Fascia B1*: in questa fascia, in aggiunta a quanto previsto ai punti precedenti, sono vietati:
     - qualunque tipo di edificazione,
     - interventi o strutture, in presenza di rilevati arginali, che tendano ad orientare la corrente in piena verso i rilevati, ovvero scavi o abbassamenti del paino di campagna che possano aumentare le infiltrazioni nelle fondazioni dei rilevati.
   - *Fascia B2*: in detta fascia, in aggiunta a quanto previsto per la *Fascia B*, è vietato qualunque tipo di edificazione.

3) *Fascia C*: in questa fascia il piano persegue l'obiettivo di assicurare un sufficiente grado di sicurezza alle popolazioni e ai luoghi di riferimento, mediante la predisposizione prioritaria, ai sensi della Legge n. 225/1992, di Programmi di previsione e prevenzione.

   Nella *Fascia C* sono, in particolare, sottoposte a tutela e salvaguardia le zone umide, le zone di riserva e le zone verdi compatibili individuate nelle Tavole grafiche allegate al Piano.

4.1. Descrizione morfologica del tratto di alveo esaminato

Nel tratto del Fiume Sabato considerato in questo studio per le verifiche idrauliche, la morfologia dell'alveo è alquanto variegata, tipica di un fiume a carattere torrentizio e con struttura essenzialmente monocursale (v. Allegato 8). Ha un andamento generale a meandri non eccessivamente accentuati, anche se in alcune ben definite zone si riscontra uno sviluppo più evidente di meandri. Come può desumersi dall'allegato fotografico (v. Allegato 7), per la maggior parte del tratto considerato l'alveo scorre alquanto incassato: in alcune zone le pareti sono molto ripide (anche più di 10 m), mentre in altre i versanti sono terrazzati e degradano più dolcemente verso l'alveo principale.

Nella zona centrale del tratto di fiume considerato le sponde sono costituite da rocce calcaree anche compatte, ma più a valle si rinvengono i tipici depositi alluvionali (conglomerati incoerenti, cementati da limi e argille). In alcune limitate parti del fiume, come ad esempio la parte iniziale del tronco di alveo considerato nei calcoli idraulici, la parte che attraversa la zona più urbanizzata e quella che è prospiciente le sorgenti Acquaro-Pelosi, le sponde sono rivestite in genere con conglomerato cementizio, ma in alcune parti ci sono anche muretti a secco o gabbionate.

A meno della zona urbana di Serino, le aree golenali non sono particolarmente urbanizzate, anzi in alcune parti queste aree presentano uno scenario fluviale di particolare pregio naturalistico, specie ad esempio in corrispondenza delle confluenze con il Vallone Matrunolo e il Vallone dell'Asino, nonché nella zona denominata Fontana del Carpino.

Procedendo da monte verso valle, nel tratto più montano le coltivazioni arboree specializzate sono i castagneti da frutto presenti in entrambi i versanti; più a valle e fino alla zona "Macello", quando ormai si è praticamente nella zona urbana di Serino, i castagneti da frutto sono maggiormente ubicati nei versanti in sinistra idraulica, mentre lungo le zone in destra idraulica c'è un'alternanza di cedui misti e cedui di castagno matricinati in via di rinaturalizzazione. Nel tratto dell'abitato di Serino ci sono noceti, noccioleti e qualche frutteto. Nel tratto più a valle considerato nei calcoli idraulici, in prossimità delle sorgenti Acquaro-Pelosi e al confine con i Comuni di S. Lucia e S. Michele di Serino, ci sono noceti e noccioleti con sponde completamente rivestite e vegetazione del greto formata da erbacce e pochi elementi arborei e arbustivi costituiti da salici *Salix caprea*. Nella zona golenale in S. Lucia c'è presenza di un lembo di fustaia adulta ripariale a salice bianco, pioppo nero, ontano nero e napoletano.

4.2. Metodi e procedure per l'esecuzione delle verifiche idrauliche

4.2.1. Modello idraulico

Per la determinazione dei livelli idrici in un alveo quasi cilindrico di non grande pendenza e il conseguente tracciamento del profilo della superficie libera del corso d'acqua, il cosiddetto *profilo di rigurgito*, sono state utilizzate le equazioni del moto permanente monodimensionale di una corrente a pelo libero in alveo quasi cilindrico con portata costante nel tempo, ma variabile fra i tratti (Marchi & Rubatta, 1981).

Le equazioni che governano il processo di moto sono state integrate per via numerica utilizzando il codice di calcolo HEC-RAS, versione 3.1.3 del maggio 2005, sviluppato e messo a punto da Hydrologic Engineering Center dell'US Army Corps of Engineers (USACE, 2002). Tale programma è oggi molto diffuso in ambito tecnico e, grazie soprattutto alla sua libera distribuzione fra gli utenti, gode di numerose verifiche anche con riferimento a situazioni di sistemi idrici abbastanza articolati.

Anche se la simulazione dei fenomeni di esondazione da alvei fluviali e la relativa inondazione delle aree limitrofe è alquanto complessa, l'adozione di una schematizzazione semplificata del fenomeno in esame è tuttavia giustificata dall'interesse di evidenziare solo gli aspetti essenziali degli scenari di piena per il tratto considerato del Fiume Sabato chiuso alla sezione ID=2. Ciò è coerente con quanto riportato in documenti emessi dal parte di AdB-LGV ed è altresì in accordo con la recente evidenza che un modello idraulico monodimensionale, costruito sulla base di un accurato inquadramento plano-altimetrico della zona e un rilievo di dettaglio delle sezioni idriche, può riprodurre un fenomeno di esondazione con una efficienza comparabile con quella offerta da più sofisticati modelli bidimensionali (Di Baldassarre et al., 2006).

HEC-RAS è un programma che adotta una schematizzazione monodimensionale (corrente gradualmente variata e dunque distribuzione sensibilmente idrostatica delle pressioni in ciascuna sezione idrica; variazioni graduali della sezione dell'alveo; distribuzione di velocità pressoché uniforme nelle singole sezioni trasversali) per simulare il moto dell'acqua in alvei naturali o sistemi di canali artificiali, nel caso di regime di moto sia permanente (stazionario) sia vario (non stazionario). Durante il calcolo, le sezioni sono assunte ortogonali alla direzione della corrente idrica. HEC-RAS simula la presenza delle confluenze seguendo approcci teorici differenti (metodo dei momenti, teorema della quantità di moto, ecc.) in funzione dell'entità delle portate e delle angolazioni nei singoli casi. Caratteristica interessante della versione più recente di questo modello è la possibilità di gestire la geometria fluviale utilizzando l'estensione HEC-GeoRAS per GIS.

Si assume la formula di Gauckler/Manning, verificata da Strickler, come relazione fra le resistenze al moto di tipo distribuite e la velocità media di portata *V*:

$$V = \chi R^{\frac{1}{2}} J^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} i_f^{\frac{1}{2}} \qquad (4\text{-}1)$$

ove *J* (m m^{-1}) rappresenta l'abbassamento della linea dell'energia specifica totale per unità di percorso, *R* (m) è il raggio idraulico, χ è un coefficiente di attrito e *n* è il cosiddetto coefficiente di scabrezza di Manning ($\chi = 1/n\ R^{1/6}$). Nell'equazione del moto uniforme per le correnti a pelo libero si è soliti indicare, anziché l'abbassamento *J*, la pendenza di fondo i_f (ossia, si pone $J = i_f$).

Inoltre, HEC-RAS può tenere conto di eventuali dissipazioni concentrate di energia tramite coefficienti di contrazione ed espansione e prevede anche la possibilità di introdurre un prefissata variazione di energia in una qualsiasi sezione trasversale per simulare l'esistenza, ad esempio, di brusche variazioni di sezione. In corrispondenza di particolari situazioni localizzate (ad esempio, ponti, tombini, stramazzi, risalti idraulici, ecc.) il moto non può, a rigore, essere considerato gradualmente variato e per risolvere il problema sono quindi utilizzate equazioni di bilancio della quantità di moto o relazioni di tipo empirico. Di particolare utilità per le simulazioni idrauliche relative al caso in esame è il calcolo del profilo di corrente locale in corrispondenza di punti singolari (ponti, sottopassi, ecc.). In tal caso il programma verifica la possibilità di un moto della corrente in pressione allorquando il pelo libero (o, a scelta dell'utente, la linea dell'energia) raggiunge l'intradosso dell'impalcato; se si supera anche l'estradosso dell'impalcato, il programma valuta anche l'entità della corrente che defluisce a stramazzo.

4.2.2. Definizione di variabili e parametri per il caso in esame

Tenuto conto delle disposizioni normative di AdB-LGV, la verifica idraulica del tratto di Fiume Sabato considerato in questo studio è stata eseguita determinando il profilo di corrente relativo alle portate al colmo di piena indicate nella Tabella 4-1 per le due sezioni di controllo ID=1 e ID=2 e determinate al precedente Par. 3 con l'analisi idrologica.

La parte del Fiume Sabato interessata dalle verifiche idrauliche è stata suddivisa in segmenti; anche se le sezioni sono state rilevate a distanze non eccessive fra loro, per evitare che variazioni eccessive del carico cinetico potessero risultare troppo elevate per determinare con sufficiente accuratezza il gradiente della linea dell'energia, si è provveduto ad infittire le sezioni di calcolo che il programma HEC-RAS esegue per interpolazione delle sezioni rilevate.

Tabella 4-1. Valori delle portate al colmo di piena $Q_{c,T}$, per diversi periodi di ritorno T, utilizzati nelle verifiche idrauliche e per la definizione delle fasce fluviali.

	ID=1	*ID=2*
$Q_{c,T=30}$	145,1	183,9
$Q_{c,T=100}$	195,6	248,0
$Q_{c,T=300}$	242,9	308,0

La disponibilità di accurati rilievi, aggiornati in questo studio per zone ritenute significative, circa la geometria dell'alveo e la pendenza media dei vari tratti, ha consentito di attribuire un buon grado di accuratezza al profilo di moto permanente calcolato per l'evento di piena previsto. Le strutture esistenti lungo il tratto di fiume considerato sono state descritte utilizzando le opzioni fornite dal codice di calcolo.

Tabella 4-2. Valori del coefficiente di scabrezza per alcuni tipi di alvei naturali (K_{GS} = coefficiente di Gauckler-Strickler; n = coefficiente di Manning).

Descrizione del corso d'acqua	$\boldsymbol{K_{GS}}$ ($m^{1/3}\ s^{-1}$)	$\boldsymbol{n}$ ($s\ m^{-1/3}$)
Tratti di corsi d'acqua naturali con salti, rocce o vegetazione anche arbustiva-arborea in alveo.	30 – 25	0,033 – 0,040
Corsi d'acqua naturali con vegetazione e movimento di materiale sul fondo.	35 – 30	0,029 – 0,033
Tratti urbanizzati di corsi d'acqua naturali con argini cementati (e/o platee) in buono stato.	40 – 35	0,025 – 0,029
Corsi d'acqua con fondo ed argini totalmente cementati in ottimo stato ed assenza di manufatti (tubi, cavi, ecc.) o discontinuità interferenti con le acque.	45 – 40	0,022 – 0,025
Tombinature perfettamente lisciate e dotate a monte di dispositivi atti ad assicurare la trattenuta di trasporto solido di fondo e in sospensione (briglie selettive, vasche di sedimentazioni, ecc.).	55 – 45	0,018 – 0,022

Per i valori da assegnare al coefficiente di scabrezza, si suggerisce che essi tengano conto delle reali e documentabili condizioni di manutenzione del corso d'acqua e, di norma, sono desunti da quelli individuati dalla Tabella 4-2 (da considerare come valori limiti non superabili). In questo studio, tenuto conto delle attuali condizioni del tronco di Fiume Sabato investigato, è stato assunto un valore del coefficiente di Manning pari a 0,034 per l'alveo ordinario, mentre un valore del coefficiente di Manning pari a 0,050 per le zone golenali in sinistra e in destra.

Per le condizioni al contorno del campo di moto, è innanzi tutto utile ricordare che in Idraulica un alveo naturale o artificiale si definisce a "*debole pendenza*" se risulta $i_f<i_c$ (v. Marchi & Rubatta, 1981), essendo i_c la cosiddetta pendenza critica. In mancanza di specifiche determinazioni circa i_c, Marchi & Rubatta (1981) suggeriscono che tale parametro in genere assume valori compresi fra 1,5‰ e l'8‰, e frequentemente intorno al 3÷4‰. Pertanto, nel caso in esame l'alveo dovrebbe considerarsi a "forte pendenza", anche se in proposito vale la pena osservare che in realtà il valore di i_c dipende dalla portata idrica e quindi un alveo può essere a "*debole pendenza*" per piccole portate, ma a "*forte pendenza*" per valori elevati delle portate.

L'identificazione di una condizione di alveo a "*debole pendenza*" o a "*forte pendenza*" è di fondamentale importanza pratica per il tracciamento dei possibili profili di corrente in moto permanente. Infatti, tale condizione idraulica impone le diverse tipologie di profili di una corrente a pelo libero ("*correnti lente*" oppure "*correnti veloci*") che possono stabilirsi in alveo e a cui associare poi quella particolare posizione ove ricercare la condizione al contorno del campo di moto, ossia il punto da cui partire per il corretto tracciamento del profilo di corrente: tale condizione deve essere ricercata all'estremo a valle, se la corrente è lenta, all'estremo a monte, se la corrente è veloce. Come condizione al contorno è stato assunto il livello idrico alla confluenza a valle al transito delle tre diverse portate di progetto.

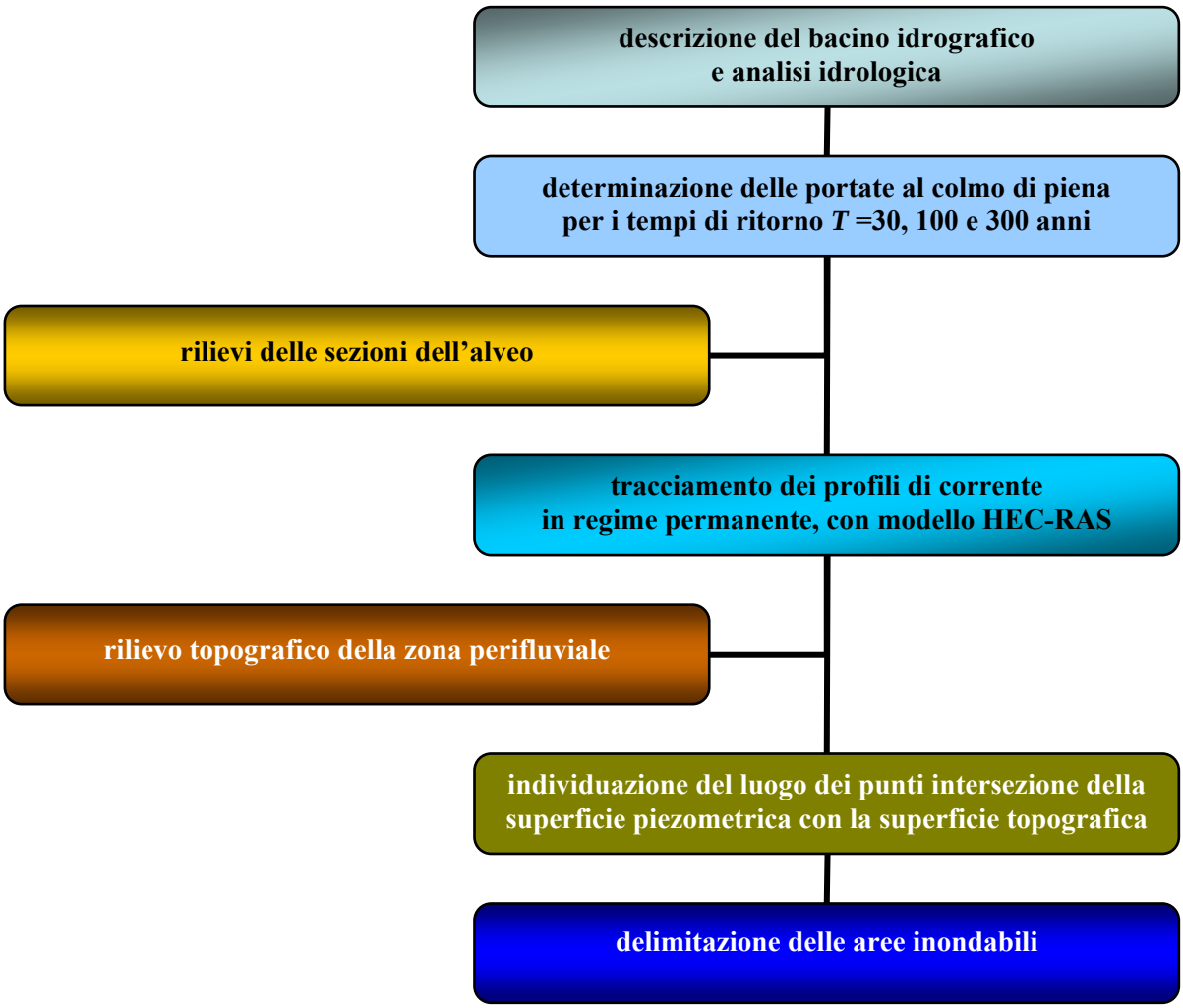
4.3. Risultati

Con riferimento allo stato attuale dei luoghi lungo il tratto di Fiume Sabato considerato e alle ipotesi di lavoro prima discusse assunte alla base dei calcoli, i risultati della verifica idraulica sono riportati in forma tabulare in Allegato 9, mentre in forma grafica negli Allegati 10 e 11, ed essi illustrano le principali grandezze idrauliche e il fenomeno di moto che si instaura nelle diverse sezioni dell'alveo.

4.3.1. Delimitazione delle aree inondabili

I risultati dei calcoli conseguiti in condizioni di moto permanente con il codice di calcolo HEC-RAS sono stati innanzi tutto utilizzati per identificare le zone interessate da fenomeni di allagamento per assegnati periodi di ritorno.

Per le diverse portate di riferimento nelle verifiche idrauliche, le massime posizioni assunte dal pelo libero dell'acqua per i diversi periodi di ritorno sono state confrontate con le quote del terreno in modo da suddividere la fascia perifluviale del Comune di Serino in zone a differente grado di pericolosità.



I limiti delle aree inondabili sono stati quindi ottenuti come luogo dei punti suddetti, tenendo conto della morfologia del terreno, della presenza delle sistemazioni spondali esistenti o di opere di contenimento, quali ad esempio i rilevati stradali, e valutando anche il fenomeno di progressivo esaurimento del deflusso. Per tracciare le zone del territorio comunale interessate da inondazioni, sono stati considerati sia i fenomeni di allagamento diretto, dovuti al raggiungimento di quote del pelo libero superiori alle quote delle sponde sia quelli di allagamento cosiddetto indiretto, ossia provocati da esondazioni in corrispondenza di sezioni ubicate a monte rispetto alla zona in esame. Si ritiene che tale tecnica sia da considerare molto rispondente nel caso in esame che riguarda il tracciamento di aree inondabili per un tratto di corso d'acqua abbastanza incassato fino alla sezione di chiusura assunta nei calcoli.

In base a questa metodologia, schematizzata nel diagramma di flusso in questa pagina, sono state individuate le aree inondabili per le portate al colmo di piena, relative ai tempi di ritorno T di 30, 100 e 300 anni, e sono state disegnate nelle carte delle "Aree Inondabili" in scala 1:5000.

I risultati delle analisi di pericolosità idraulica portano ad individuare l'esistenza di alcune criticità nel tronco di Fiume Sabato esaminato in questo studio.

In particolare, procedendo da monte verso valle, in corrispondenza del piccolo ponte ubicato al confine con il Comune di Giffoni Valle Piana e praticamente all'inizio del tronco di alveo esaminato, si riscontra subito una discreta zona di allagamento già per la portata al colmo di piena di maggiore frequenza, ossia quella corrispondente al periodo di ritorno T = 30 anni; nella parte in destra idraulica di questa zona, inoltre, il fenomeno di esondazione è marcato anche per i periodi di ritorno T = 100 e 300 anni, anche se esso è per certi aspetti mitigato dalla presenza della strada che passa dinanzi il campo pozzi gestito dall'Alto Calore e conduce alla S.S. n. 574. I fiume poi scorre abbastanza incassato e qualche fenomeno di esondazione, anche se di minore entità, si riscontra in corrispondenza della zona di confluenza del Fiume Sabato con i valloni che prevalentemente provengono dai versanti in sinistra idraulica, principalmente il Vallone Puzzillo e il Vallone di Boianico, e che si concentrano nella zona denominata Fontana del Lontro.

Il Fiume Sabato poi scorre abbastanza incassato e i fenomeni di esondazione sono ben modesti nonostante le immissioni di importanti tributari, quali il Vallone Matrunolo e il Vallone dei Canteri in destra idraulica e il Vallone dell'Asino in sinistra idraulica.

Sempre procedendo da monte verso valle, le criticità per esondazione dell'acqua del Fiume Sabato si riscontrano ora con il formarsi del tessuto urbano di Serino e, in particolare, in località Fontanelle. Per la presenza di una serie di attraversamenti di non adeguate dimensioni si determinano allagamenti da questa zona e fino alla località Sala, in corrispondenza del ponte della S.S. n. 574. La mancanza forse di idonee sistemazioni spondali e la pressione antropica determinano fenomeni di allagamento differenziati anche in relazione alle locali situazioni topografiche. In ogni caso, dal piccolo ponte in corrispondenza delle sorgenti Acquaro-Pelosi e fino alla sezione di chiusura del bacino, si riscontrano le maggiori e più evidenti esondazione del Fiume Sabato per il tratto investigato, a causa del fenomeno di rigurgito provocato dal ponte in località del Comune di S. Michele di Serino.

4.3.2. Individuazione delle fasce fluviali

Con riferimento alle aree suscettibili di trasformazioni antropiche che comportano l'esposizione al rischio idraulico o che possono modificare in modo sensibile l'estensione delle aree esondabili, è

necessario individuare un assetto del territorio che garantisca la compatibilità dello sviluppo socio-economico con le caratteristiche naturali delle dinamiche fluviali.

Per le finalità che questo studio idraulico riveste nell'ambito della redazione del P.U.C. del Comune di Serino, l'individuazione delle fasce fluviali assume pertanto una notevole importanza ed è stata eseguita ponendo attenzione a quelle situazioni, ad esempio la presenza di strade, scarpate, ecc., rilevate durante in diversi sopralluoghi eseguiti e che possono condizionare una loro corretta identificazione.

Per delimitare le fasce fluviali del tronco di Fiume Sabato investigato in questo studio, sono state innanzi tutto considerate:

- l'alveo di piena del corso d'acqua definito per la piena di riferimento, definita "piena standard" e pari al valore assunto dalla portata al colmo di piena per un periodo di ritorno $T = 100$ anni;
- le aree di espansione naturale della piene corrispondenti ai periodi di ritorno T di 30, 100 e 300 anni e che esercitano un significativo effetto sul fenomeno di laminazione;
- le aree di particolare valore naturalistico e pregio ambientale.

In base ai già citati criteri stabiliti dall'Autorità di Bacino nazionale dei fiumi Liri-Garigliano e Volturno (AdB-LGV) per l'individuazione delle tre distinte fasce fluviali *A*, *B* e *C*, sono state redatte le carte delle "Fasce Fluviali" in scala 1:5000.

5. Elenco degli Allegati

Al presente studio idrologico-idraulico sono allegati i seguenti documenti, che ne formano parte integrante:

- **Allegato N. 1:** corografia generale dell'area oggetto di studio (IGM, scala 1:50.000), con ubicazione dalla sezione ID=1 e della sezione di chiusura ID=2.
- **Allegato N. 2:** fasce altimetriche del bacino imbrifero considerato nelle verifiche idrauliche e sotteso dalla sezione ID=1 e dalla sezione di chiusura ID=2.
- **Allegato N. 3:** idrografia generale dell'area oggetto di studio.
- **Allegato N. 4:** schema idrogeologico del massiccio Terminio-Tuoro (Celico et al., 1994).
- **Allegato N. 5:** carta dei Sistemi di Terre della Campania (di Gennaro et al., 2002).
- **Allegato N**. **6:** grafici per la caratterizzazione del regime climatico per il Comune di Serino.
- **Allegato N**. **7:** documento fotografico del Fiume Sabato a Serino.
- **Allegato N. 8:** reticolo idrografico con ubicazione delle sezioni di calcolo (scala 1:5000).
- **Allegato N. 9:** risultati delle simulazioni con il modello HEC-RAS.
- **Allegato N. 10:** carte delle Aree Inondabili (scala 1:5000).
- **Allegato N. 11:** carte delle Fasce Fluviali (scala 1:5000).

Salerno, marzo 2008.

Prof. Ing. Nunzio Romano

Bibliografia citata

Aquino, S. 2006. Protezione e gestione delle risorse idriche: il massiccio carbonatico del monte Terminio – Tuoro. Acqua & Territorio 9:55-62.

Bagnouls, F. & H. Gaussen, 1957. Les climats biologiques et leur classification. Annales de Géographie 355:193-220.

Celico, P. 1978. Schema idrogeologico dell'Appennino carbonatico centro-meridionale. Mem. e Note dell'Ist. di Geol. App. di Napoli, 14:3-97.

Celico, P. & M. De Innocentiis, 1994. Caratteristiche fisiche dei bacini della Campania e il coefficiente di afflusso di piena. In Previsione e Prevenzione degli Eventi Idrologici Estremi e loro Controllo (a cura di F. Rossi), Rapporto 1992-93, Linea 1, GNDCI-CNR, Roma.

Celico, F., P. Celico & S. Aquino, 1994. Carta della vulnerabilità all'inquinamento del massiccio carbonatico del

Terminio-Tuoro (Campania). Atti IV Conv. Intern. di Geoingegneria "Difesa e Valorizzazione del Suolo e degli Acquiferi", 10-11 marzo, Torino.

Civita, M. 1969. Idrogeologia del massiccio del Terminio-Tuoro (Campania). Mem. e Note dell'Ist. Di Geol. App. di Napoli, 11:5-102.

Di Baldassarre, G., A. Castellarin, A. Brath, M. Horritt & P. Bates, 2006. Modellistica idraulica monodimensionale: alcune considerazioni applicative sul grado di dettaglio ottimale della descrizione topografica. XXX Convegno di Idraulica e Costruzioni idrauliche, IDRA2006, Roma, 11-15 settembre.

di Gennaro (a cura di), 2002. I sistemi di terre della Campania. Risorsa s.r.l. e Regione Campania, S.EL.CA. Firenze, pp. 64.

Marchi, E. & A. Rubatta, 1981. Meccanica dei Fluidi. UTET, Torino.

Rossi, F. & P. Villani (a cura di), 1995. Valutazione delle piene in Campania. C.N.R. – G.N.D.C.I., Linea 1, Unità Operativa 1.9, Grafica Metelliana & C. s.n.c., Cava de' Tirreni (SA), 310 pp.

Saracino, A. 2008. Relazione di accompagnamento alla "Carta di uso del suolo e della copertura vegetale" e alla "Carta della naturalità". Comune di Serino (AV).

Thornthwaite, C.W. 1948, An approach toward a rational classification of climate: Geographical Review 38:55-94.

Thornthwaite, C.W. & J.R. Mather, 1957. The water balance. Publications in climatology. Drexel Institute of Technology, Vol. X, No. 3, Centerton, New Jersey, USA.

US Army Corps of Engineers, 2002. HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual, version 3.1. Hydrologic Engineering Center, Report N. CPD-69, Davis (CA), USA.

Varnes, D.J. 1984 - Landslide hazard zonation: A review of principles and practise. Natural Hazards, Vol. 3, The Unesco Press, Paris, France.

Viparelli, C. 1964. Idrologia applicata all'ingegneria. Fondazione Politecnica per il Mezzogiorno d'Italia, quaderno n. 1, I.E.M., Napoli, 240 pp.

Viparelli, C. & R. Viparelli, 1989. Bilancio idrologico di piena: connessione fra la distribuzione di probabilità delle portate al colmo di piena e le caratteristiche del bacino e della rete idrografica. Fondazione Politecnica per il Mezzogiorno d'Italia, Quaderno n. 161, 154 pp., CUEN, Napoli.

Walter, H. & H. Lieth, 1967. Klimadiagramamm-Weltatlos (Climate Diagram Atlas - Instructions for constructing climate diagrams). VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, Germany.