

REVISIONI						
	00	02/02/2021	Prima Emissione	Hydrogeo S.r.l.	Hydrogeo S.r.l.	Hydrogeo S.r.l.
	N.	DATA	DESCRIZIONE	ELABORATO	VERIFICATO	APPROVATO



AREA
ENGINEERING S.R.L.

Lungarno Guido Reni, 55
San Giovanni Valdarno (AR) 52027
tel. e fax 055.9544856
e-mail: info@areaengineeringsrl.eu



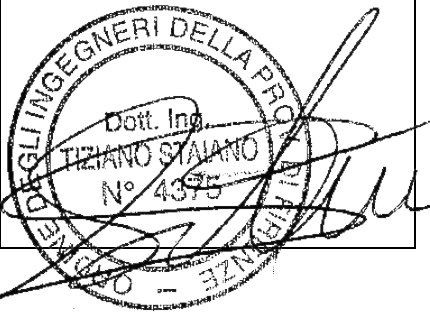
GHEA
ENGINEERING & CONSULTING S.R.L.

Lungarno Guido Reni, 55
San Giovanni Valdarno (AR) 52027
tel. e fax 055.9155832
e-mail: info@gha.it



HYDROGEO
INGEGNERIA

Via Aretina 167/b - Firenze (FI) 50136
tel. 055.6587050
fax. 390.550676043
e-mail: info@studiohydrogeo.it



RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA - RETICOLO PRINCIPALE E SECONDARIO

STUDIO IDROLOGICO IDRAULICO DI SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI SULLA STAZIONE DI SUVERETO

REVISIONI					
	00	29/03/2021	Accettazione con mail del 29/03/2021		
	N.	DATA	DESCRIZIONE	ESAMINATO	ACCETTATO

NUMERO E DATA ORDINE: _____ Lettera attivazione _____

MOTIVO DELL'INVIO: ☐ PER ACCETTAZIONE ☐ PER INFORMAZIONE

CODIFICA ELABORATO

RGDR10012B2014910



Terna
Rete Italia
T E R N A G R O U P

Questo documento contiene informazioni di proprietà Terna Rete Italia S.p.A. e deve essere utilizzato esclusivamente dal destinatario in relazione alle finalità per le quali è stato ricevuto. È vietata qualsiasi forma di riproduzione o di divulgazione senza l'esplicito consenso di Terna Rete Italia S.p.A.

This document contains information proprietary to Terna Rete Italia S.p.A. and it will have to be used exclusively for the purposes for which it has been furnished. Whichever shape of spreading or reproduction without the written permission of Terna Rete Italia S.p.A. is prohibit.

 T E R N A G R O U P	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910 Rev. 00	Codifica Elaborato <Fornitore>: Rev. < 00 >	

INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO	4
3	DATI ED ANALISI DEL QUADRO CONOSCITIVO	6
4	INQUADRAMENTO NORMATIVO	8
4.1	Piano di gestione rischi alluvioni (PGRA).....	8
4.2	Legge Regionale 24 luglio 2018, n. 41	9
4.3	DPGR 5R/2020	10
4.4	Regolamento urbanistico Comune di Suvereto.....	11
5	APPROCCIO METODOLOGICO.....	13
6	ANALISI IDROLOGICA	15
6.1	Modellistica idrologica del Reticolo Principale	15
6.2	Modellistica idrologica del Reticolo Secondario	19
6.2.1	Codifica dei bacini.....	19
6.2.2	Input Pluviometrici	20
6.3	Modello A/D per i corsi d'acqua naturali del Reticolo Secondario	21
7	ANALISI IDRAULICA.....	27
7.1	Implementazione del modello idraulico del Reticolo Principale	27
7.2	Risultati della modellistica idraulica del Reticolo Principale	28
7.3	Implementazione del modello idraulico del Reticolo Secondario.....	30
7.4	Risultati della modellistica idraulica del Reticolo Secondario	33
8	CLASSIFICAZIONE DELLE AREE A PERICOLOSITA' IDRAULICA	35
9	DETERMINAZIONE DELLA MAGNITUDO IDRAULICA	35
	APPENDICE A - MODELLISTICA IDROLOGICA.....	37
	APPENDICE C - MODELLISTICA IDRAULICA - FONDAMENTI TEORICI.....	43

 Terna Rete Italia T E R N A G R O U P	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910	Codifica Elaborato <Fornitore>: Rev. < 00 >	
Rev. 00		

1 PREMESSA

Il presente studio ha l'obiettivo di realizzare un'analisi idrologico idraulica per la definizione di un quadro conoscitivo di dettaglio della pericolosità idraulica nell'area in cui si colloca la stazione elettrica di Suvereto (LI) evidenziandone le eventuali criticità.

Gli eventi meteorici implementati nello studio, in relazione anche alla vigente normativa in materia di pericolosità idraulica, fanno riferimento a tempi di ritorno pari a 30, 200 e 500 anni.

L'analisi della pericolosità idraulica indotta dai corsi d'acqua presenti nell'ambito di studio è stata effettuata su due livelli di studio in riferimento ai seguenti reticoli idrografici:

- Reticolo Principale: analisi della pericolosità idraulica indotta dal Fiume Cornia, appartenente al Reticolo Principale, ai sensi della Disciplina di Piano del Piano di Gestione Rischio Alluvioni;
- Reticolo Secondario: analisi della pericolosità idraulica indotta dai corsi d'acqua appartenenti al reticolo di gestione regionale ai sensi della LR 79/2012; nel caso specifico Fosso delle Gore e suo affluente in sinistra idraulica.

Per ciascuno dei livelli di studio è stata implementata una modellistica idrologica idraulica dedicata, volta a definire il livello di pericolosità nell'area di indagine.

Il lavoro si articola nelle seguenti fasi operative:

- individuazione e caratterizzazione dell'ambito fisico oggetto di studio: raccolta ed analisi dei dati disponibili, caratterizzazione topografica dei corsi d'acqua e delle aree potenzialmente allagabili;
- inquadramento normativo;
- modellazione idrologica in relazione ai tre livelli di studio;
- modellazione idraulica dello stato attuale per ciascuno dei livelli di studio;
- analisi dei risultati e definizione delle aree allagate per ciascun tempo di ritorno;
- definizione della magnitudo idraulica nello scenario Stato Attuale

 TERNA GROUP	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910	Codifica Elaborato <Fornitore>: Rev. 00	Rev. < 00 >

2 INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO

L'area della stazione elettrica è ubicata nel Comune di Suvereto in località Forni.

L'ambito di indagine comprende i principali corsi d'acqua appartenenti ai reticoli idrografici che concorrono a definire il livello di pericolosità sulle aree della stazione elettrica stessa elencati di seguito:

- Reticolo idraulico principale come definito nel Piano di Gestione del Rischio Alluvioni, costituito dal Fiume Cornia;
- Reticolo secondario individuato dalla Legge regionale 27 dicembre 2012, costituito dal Fosso delle Gore e relativo affluente in sinistra idraulica
- Reticolo di drenaggio superficiale interferente direttamente con la stazione, esso è costituito dal reticolo presente sul perimetro e all'interno della stazione nonché dal sistema fognario intero.

In Figura 1 è riportata l'area di studio con evidenza dello stabilimento e dei reticoli oggetto di indagine.

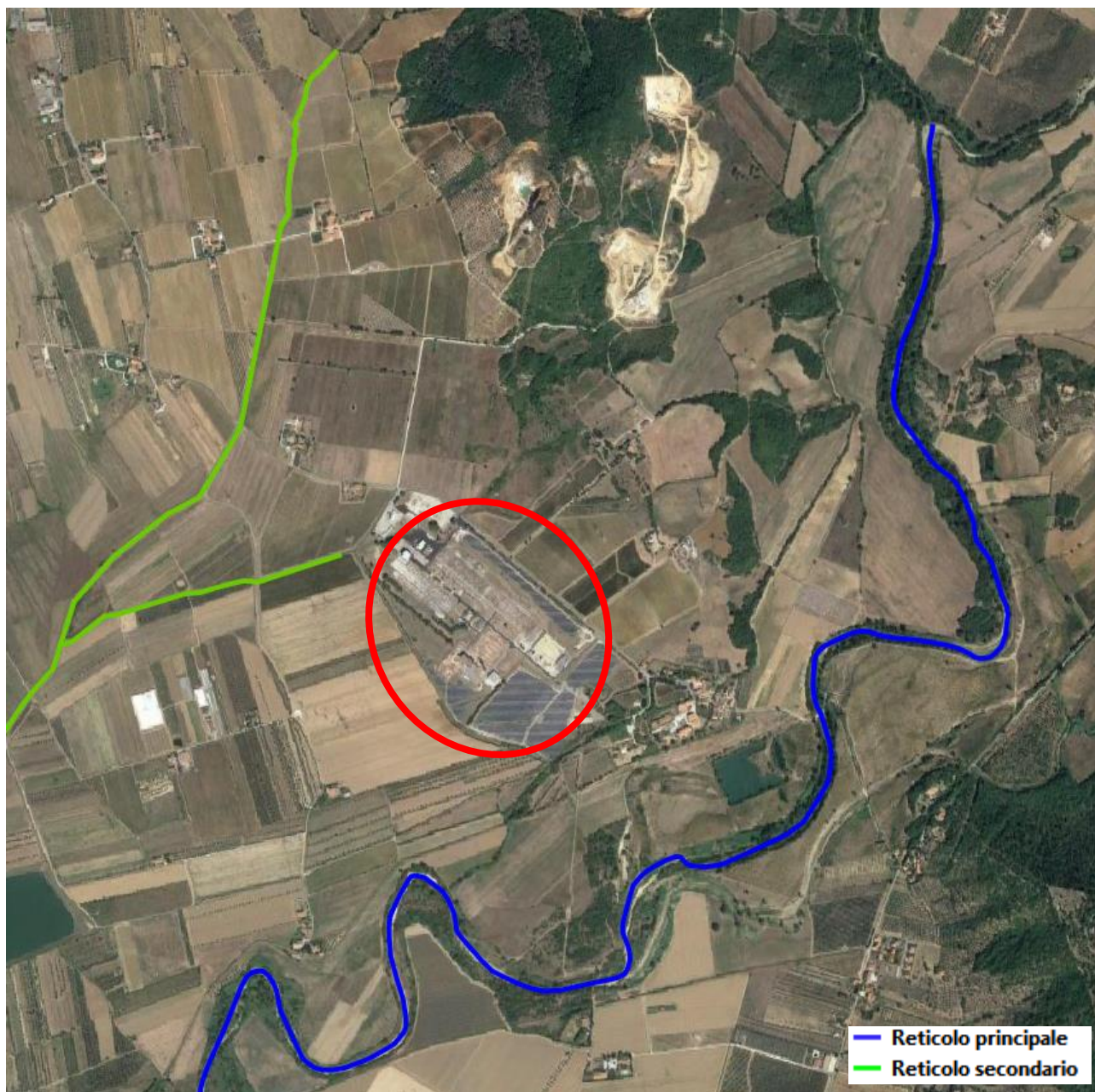


Figura 1 Inquadramento dell'area di indagine

 Terna Rete Italia T E R N A G R O U P	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910	Codifica Elaborato <Fornitore>: 	Rev. < 00 >

3 DATI ED ANALISI DEL QUADRO CONOSCITIVO

Nel presente paragrafo si riportano tutte le informazioni consultate ed analizzate che hanno concorso alla definizione dell'attuale quadro conoscitivo dell'area. La definizione del quadro conoscitivo è stata inoltre integrata mediante un rilievo topografico di dettaglio, volto a dare una maggiore caratterizzazione dell'area stessa.

Studi sul reticolo d'interesse

Dal punto di vista della caratterizzazione idrologica idraulica della zona di studio è stato consultato e analizzato lo studio di supporto alle “*Indagini idrologico-idrauliche di supporto alla Variante Generale al Piano Strutturale d'Area dei comuni di Piombino e Campiglia Marittima*” redatto dagli scriventi (anno 2019), nel quale sono riportate le analisi idrologiche idrauliche condotte sul Cornia e Riomerdancio e che saranno descritte maggiormente nei successivi paragrafi riportando le risultanze del suddetto studio in termini sia idrologici che idraulici.

Rilievo topografico

Per la caratterizzazione dell'area di studio è stato effettuato un rilievo topografico dei corsi d'acqua del reticolo secondario (fosso delle Gore e relativo affluente) e del reticolo di drenaggio superficiale interferente con la stazione elettrica. Si precisa che i rilievi hanno interessato anche le aree in adiacenza ai corsi d'acqua in modo tale da geometrizzare tutte le strutture e opere che potenzialmente possono avere interferenza con i deflussi.

Nelle seguenti tavole è riportato il rilievo topografico:

- *DGDR10012B2011409 - Planimetria di Rilievo Generale*
- *DGDR10012B2011410 - Planimetria di Rilievo - Quadro 1*
- *DGDR10012B2011411 - Planimetria di Rilievo - Quadro 2*
- *DGDR10012B2011412 - Planimetria di Rilievo - Quadro 3*
- *DGDR10012B2011413 - Planimetria di Rilievo - Quadro 4*
- *DGDR10012B2011511 - Planimetria di Rilievo - Quadro 5*
- *DGDR10012B2011512 - Planimetria di Rilievo - Quadro 6*
- *DGDR10012B2011513 - Planimetria di Rilievo - Quadro 7*
- *DGDR10012B2011514 - Planimetria di Rilievo - Quadro 8*
- *DGDR10012B2011515 - Planimetria di Rilievo - Quadro 9*
- *DGDR10012B2011516 - Planimetria di Rilievo - Quadro 10*
- *DGDR10012B2011623 - Planimetria di Rilievo - Quadro 11*
- *DGDR10012B2011624 - Planimetria di Rilievo - Quadro 12*

Strati informativi

Oltre ai dati necessari alla caratterizzazione geometrica dei corsi d'acqua, nell'ambito del presente lavoro sono stati consultati, utilizzati ed elaborati una serie di dati geografici, resi disponibili dalle Amministrazioni sovracomunali che li hanno realizzati ed in particolare:

 T E R N A G R O U P	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910 Rev. 00	Codifica Elaborato <Fornitore>: Rev. < 00 >	

- Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:10000 e 1:2000, ove presente. Fonte: Regione Toscana - Carta Tecnica Regionale;
-
- LIDAR (risoluzione spaziale 1X1m) del Ministero dell'Ambiente;
- Shape file del Reticolo Idrografico, approvato da Regione Toscana con Legge regionale 27 dicembre 2012, n. 79; Fonte dei dati: Regione Toscana <http://www.regione.toscana.it/-/consorzi-di-bonifica-reticolo-idrografico-e-di-gestione>;
- Shape file del Curve Number, elaborato nell'ambito dell' "Implementazione modello distribuito per la Toscana MOBIDIC" (Accordo di collaborazione scientifica tra la Regione Toscana e Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Firenze) <https://www.regione.toscana.it/-/implementazione-di-modello-idrologico-distribuito-per-il-territorio-toscano>
- Griglie dei parametri caratteristici delle LSPP, a ed n, pubblicate dalla Regione Toscana nell'ambito dello Studio di Regionalizzazione delle Precipitazioni. Fonte: Regione Toscana <http://www.regione.toscana.it/-/nuovi-dati-sulla-regionalizzazione-delle-precipitazioni>.

Figura 2: Pagina di pubblicazione dello studio sulla regionalizzazione delle curve di possibilità pluviometri [sito web Regione Toscana]

Difesa del suolo

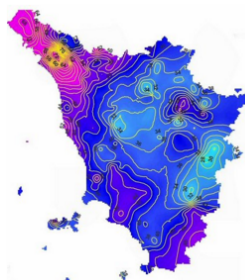
Nuovi dati sulla regionalizzazione delle precipitazioni

Nell'ambito dell'Accordo di collaborazione tra Regione Toscana e Università di Firenze di cui alla DGRT 1133/2012 al fine di procedere ad un'implementazione e un aggiornamento del quadro conoscitivo idrologico del territorio toscano si è proceduto ad effettuare un aggiornamento dell'analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme fino all'anno 2012 compreso (Referente: Prof. Enrica Caporali- dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale Università degli Studi di Firenze).

Attraverso l'analisi di frequenza regionale sono state stimate su tutto il territorio regionale le altezze di pioggia per le durate 1, 3, 6, 12, 24 ore ed i tempi di ritorno 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200, 500.

Attraverso una regressione lineare sono stati calcolati i parametri delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica a ed n, grazie ai quali è possibile calcolare, per qualsiasi durata, in qualsiasi punto del territorio regionale l'altezza di pioggia per i tempi di ritorno 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200, 500.

I parametri a ed n forniti sono in formato raster, risoluzione 1kmx1km.



Consulta la [relazione finale dell'attività](#) e la [presentazione](#)

Scarica i [parametri delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica a ed n](#) da utilizzarsi previa consultazione della [Guida all'uso](#).

Per elaborazioni a scala di bacino/stazione pluviometrica/comune/aree di allerta è possibile consultare l'applicativo disponibile al seguente [indirizzo](#)

 T E R N A G R O U P	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910 Rev. 00	Codifica Elaborato <Fornitore>: Rev. < 00 >	

4 INQUADRAMENTO NORMATIVO

Nel presente paragrafo si riporta l'analisi del quadro normativo vigente in materia di pericolosità idraulica, in riferimento agli strumenti comunali, normative regionali e sovraordinate.

4.1 Piano di gestione rischi alluvioni (PGRA)

Il Piano di gestione del rischio di alluvioni (PGRA) delle Units of Management (U.O.M.) è redatto ai sensi della direttiva 2007/60/CE e del decreto legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 ed è finalizzato alla gestione del rischio di alluvioni nel territorio di ciascuna U.O.M.

Per il bacino dell'Arno il PGRA sostituisce a tutti gli effetti, con una nuova cartografia e nuove norme, il PAI (Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico) riguardante la pericolosità ed il rischio idraulico.

In particolare, fra gli elaborati costituenti il PGRA si segnala la "Mappa della pericolosità da alluvione fluviale".

In essa le aree con pericolosità da alluvione fluviale sono rappresentate su tre classi, secondo la seguente gradazione:

- pericolosità da alluvione elevata (P3), corrispondenti ad aree inondabili da eventi con PGRA – U.O.M. Arno tempo di ritorno minore/uguale a 30 anni;
- pericolosità da alluvione media (P2), corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno maggiore di 30 anni e minore/uguale a 200 anni;
- pericolosità da alluvione bassa (P1) corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno superiore a 200 anni e comunque corrispondenti al fondovalle alluvionale.

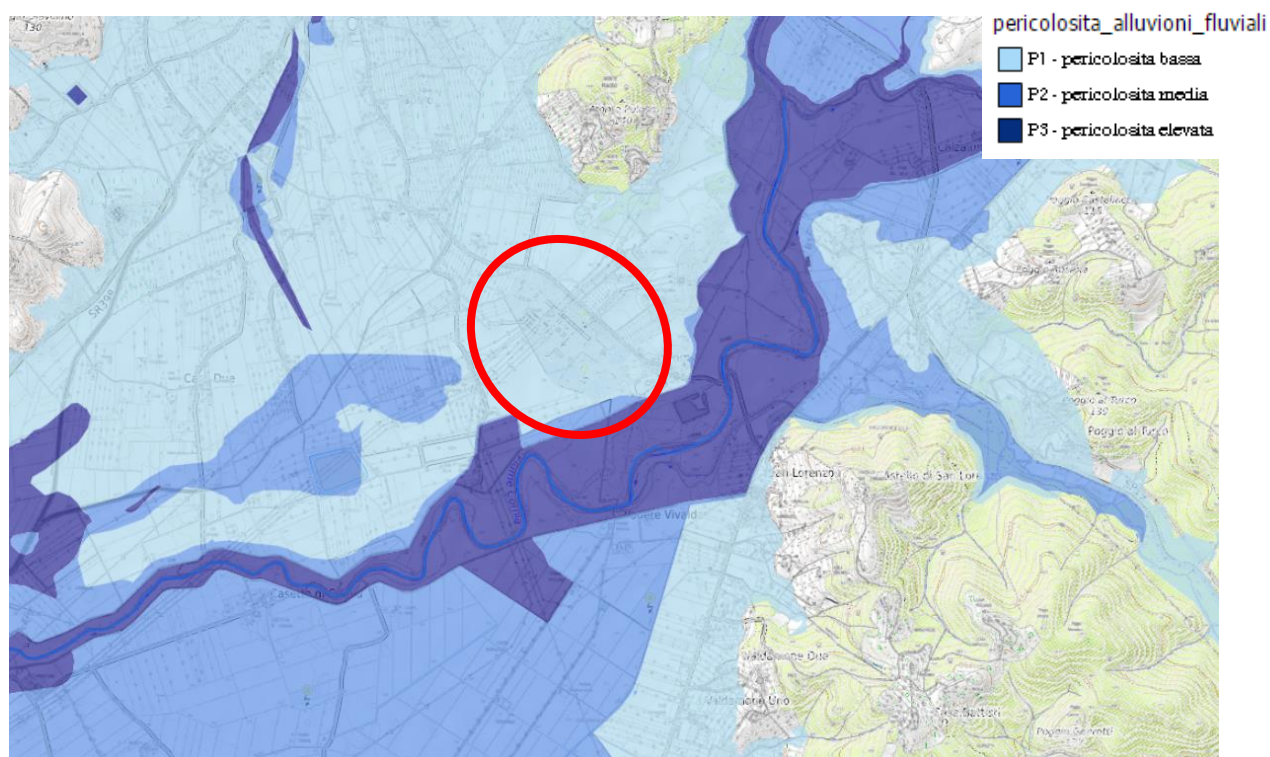


Figura 3 Estratto cartografia PGRA, Aree a pericolosità idraulica fluviale.

L'areale oggetto di studio ricade in classe di pericolosità da alluvione bassa (P1)

 Terna Rete Italia T E R N A G R O U P	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910	Codifica Elaborato <Fornitore>: Rev. < 00 >	
	Rev. 00	

4.2 Legge Regionale 24 luglio 2018, n. 41

La LR 41/2018 Disposizioni in materia di rischio alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del D.lgs. 49/2010 disciplina la gestione del rischio di alluvioni in relazione alle trasformazioni del territorio e la tutela dei corsi d'acqua.

L'art. 8 definisce le Opere per la gestione del rischio alluvioni.

1. La gestione del rischio di alluvioni è assicurata mediante la realizzazione delle seguenti opere finalizzate al raggiungimento almeno di un livello di rischio medio R2:

- a) opere idrauliche che assicurano l'assenza di allagamenti rispetto ad eventi poco frequenti;
- b) opere idrauliche che riducono gli allagamenti per eventi poco frequenti, conseguendo almeno una classe di magnitudo idraulica moderata, unitamente ad opere di sopraelevazione, senza aggravio delle condizioni di rischio in altre aree;
- c) opere di sopraelevazione, senza aggravio delle condizioni di rischio in altre aree;
- d) interventi di difesa locale.

2. Il non aggravio delle condizioni di rischio in altre aree è assicurato attraverso la realizzazione delle seguenti opere:

- a) opere o interventi che assicurino il drenaggio delle acque verso un corpo idrico recettore garantendo il buon regime delle acque;
- b) opere o interventi diretti a trasferire in altre aree gli effetti idraulici conseguenti alla realizzazione della trasformazione urbanisti-co-edilizia, a condizione che:
 - 1) nell'area di destinazione non si incrementi la classe di magnitudo idraulica;
 - 2) sia prevista dagli strumenti urbanistici la stipula di una convenzione tra il proprietario delle aree interessate e il comune prima della realizzazione dell'intervento.

3. Le opere o interventi di cui al comma 2, lettera b), sono previste negli strumenti urbanistici e sono realizzate previa verifica di compatibilità idraulica effettuata dalla struttura regionale competente in relazione al titolo abilitativo di riferimento.

4. Le opere idrauliche di cui al comma 1, lettere a) e b), sono realizzate prima o contestualmente all'attuazione della trasformazione urbanistico-edilizia. L'attestazione di agibilità degli immobili oggetto delle trasformazioni urbanistico-edilizie è subordinata al collaudo di tali opere idrauliche.

L'art. 9 definisce l'ambito di applicazione del capo III.

1. Le disposizioni del presente capo si applicano agli interventi edilizi all'interno del perimetro del territorio urbanizzato come definito dalla L.R. 65/2014.

 T E R N A G R O U P	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910 Rev. 00	Codifica Elaborato <Fornitore>: Rev. < 00 >	

4.3 DPGR 5R/2020

In attuazione dell'articolo 104 della legge regionale 10 novembre 2014 n.65 (Norme per il governo del territorio), il presente regolamento contiene le disposizioni in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche.

Art.1 Oggetto

1. In attuazione dell'articolo 104 della legge regionale 10 novembre 2014, n.65 (Norme per il governo del territorio), il presente regolamento, nel rispetto della normativa nazionale e regionale di riferimento ed in coerenza con gli strumenti della pianificazione di bacino, disciplina in sede di formazione degli strumenti della pianificazione territoriale e urbanistica:

- a) le direttive per la predisposizione delle indagini che verificano la pericolosità del territorio sotto il profilo geologico, idraulico e sismico, le aree esposte a rischio e la fattibilità degli interventi di trasformazione in relazione all'obiettivo della mitigazione dei rischi;
- b) le procedure per il deposito delle indagini presso le strutture regionali competenti;
- c) le procedure per lo svolgimento del controllo delle indagini da parte della struttura regionale competente;
- d) i criteri per l'individuazione delle classi di pericolosità o di rischio, sotto il profilo geologico e sismico.

4. L'individuazione delle aree a pericolosità per alluvioni è effettuata ai sensi dell'articolo 2, comma 1, lettere d) ed e) della legge regionale 24 luglio 2018, n.41 Disposizioni in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del decreto legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 (Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni). Modifiche alla l.r. 80/2015 e alla l.r. 65/2014.

L'allegato A riporta le Direttive tecniche per lo svolgimento delle indagini geologiche, idrauliche e sismiche.

C.2) Aree a pericolosità da alluvioni

La caratterizzazione delle aree a pericolosità da alluvioni è effettuata secondo la seguente classificazione:

- Aree a pericolosità per alluvioni frequenti (P3), come definite dall'articolo 2, comma 1, lettera d) della l.r.41/2018
- Aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti (P2), come definite dall'articolo 2, comma 1, lettera e) della l.r.41/2018
- Aree a pericolosità da alluvioni rare o di estrema intensità (P1), come classificate negli atti di pianificazione di bacino in attuazione del d.lgs.49/2010

3.3 Criteri generali di fattibilità in relazione al rischio di alluvioni

Nelle aree caratterizzate da pericolosità per alluvioni frequenti e poco frequenti la fattibilità degli interventi è perseguita secondo quanto disposto dalla l.r. 41/2018, oltre a quanto già previsto dalla pianificazione di bacino.

[.....]

Nel caso di interventi in aree soggette ad allagamenti, la fattibilità è subordinata a garantire, durante l'evento alluvionale l'incolumità delle persone, attraverso misure quali opere di sopraelevazione, interventi di difesa locale e procedure atte a regolare l'utilizzo dell'elemento esposto in fase di evento.

 Terna Rete Italia T E R N A G R O U P	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910	Codifica Elaborato <Fornitore>: 	Rev. < 00 >

Durante l'evento sono accettabili eventuali danni minori agli edifici e alle infrastrutture tali da essere rapidamente ripristinabili in modo da garantire l'agibilità e la funzionalità in tempi brevi post evento.

4.4 Regolamento urbanistico Comune di Suvereto

All'interno del regolamento urbanistico del Comune di Suvereto approvato con D.C.C. n. 25 del 14.06.2011, sono presenti le carte che identificano la pericolosità idraulica dell'area. La pericolosità viene individuata secondo la seguente classificazione:

- Pericolosità idraulica molto elevata (I.4): aree interessate da allagamenti per eventi con Tr_{30} anni. Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici, rientrano in classe di pericolosità molto elevata le aree di fondovalle non protette da opere idrauliche per le quali ricorrano contestualmente le seguenti condizioni: a) vi sono notizie storiche di inondazioni; b) sono morfologicamente in situazione sfavorevole di norma a quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a metri 2 sopra il piede esterno dell'argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda.
- Pericolosità idraulica elevata (I.3): aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra $30 < Tr < 200$ anni. Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici, rientrano in classe di pericolosità elevata le aree di fondovalle per le quali ricorra almeno una delle seguenti condizioni: a) vi sono notizie storiche di inondazioni; b) sono morfologicamente in condizione sfavorevole di norma a quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a metri 2 sopra il piede esterno dell'argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda.
- Pericolosità idraulica media (I.2): aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra $200 < Tr < 500$ anni. Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici rientrano in classe di pericolosità media le aree di fondovalle per le quali ricorrano le seguenti condizioni: a) non vi sono notizie storiche di inondazioni; b) sono in situazione di alto morfologico rispetto alla piana alluvionale adiacente, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda.
- Pericolosità idraulica bassa (I.1): aree collinari o montane prossime ai corsi d'acqua per le quali ricorrono le seguenti condizioni: a) non vi sono notizie storiche di inondazioni; b) sono in situazioni favorevoli di alto morfologico, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda.

Di seguito si riporta un estratto della tavola S8.4b nella quale viene classificata la pericolosità idraulica dell'area della stazione elettrica.

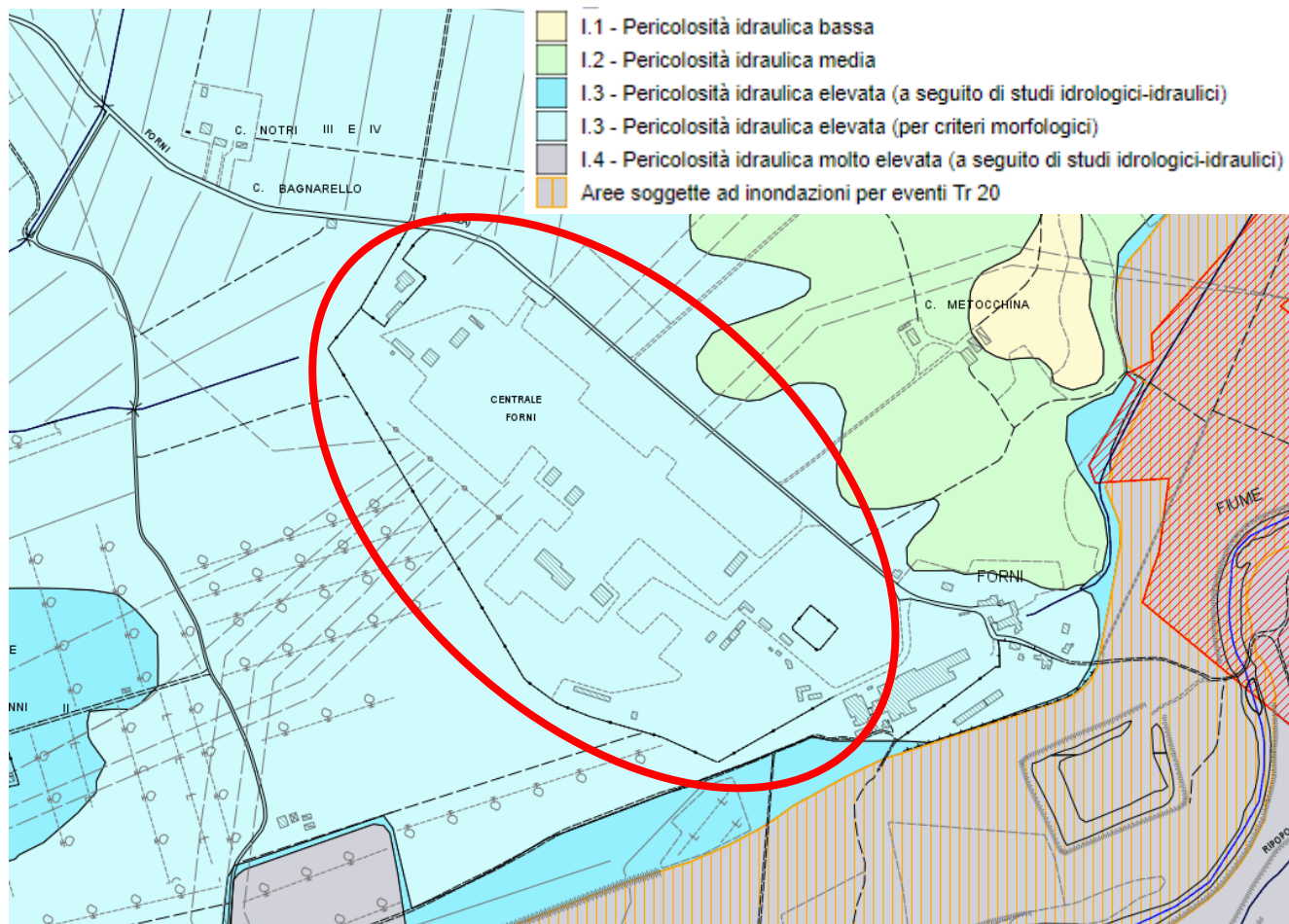


Figura 4 Estratto tavola S8.4b- pericolosità idraulica del regolamento urbanistico di Suvereto.

La zona oggetto di studio viene classificata, adottando criteri geomorfologici, in classe di pericolosità I.3 ovvero area soggetta a pericolosità idraulica elevata.

 Terna Rete Italia T E R N A G R O U P	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910	Codifica Elaborato <Fornitore>: 	Rev. < 00 >

5 APPROCCIO METODOLOGICO

Lo schema metodologico adottato nel presente studio si basa essenzialmente su criteri analitici che, partendo dagli eventi di precipitazione, conduce alla definizione delle aree soggette ad inondazione attraverso la simulazione dei fenomeni di formazione e propagazione dell'onda di piena.

Ai fini dell'individuazione delle aree allagabili, l'approccio deve necessariamente considerare un corso d'acqua nella sua più completa caratterizzazione spaziale, sia in termini d'estensione, sia in termini di contributi laterali provenienti dagli affluenti considerati. La determinazione delle aree soggette ad inondazione dipende, in sostanza, dalla distribuzione spazio-temporale dei volumi di piena; pertanto, in ogni sezione del corso d'acqua, i volumi d'esondazione dipendono, a parità d'evento che li genera, dalla dinamica di propagazione e di laminazione verificatasi nelle sezioni precedenti.

È pertanto necessario, da un lato, stimare gli idrogrammi di piena in arrivo al corso d'acqua e, dall'altro, analizzarne la propagazione e laminazione per effetto di esondazioni, opere, diversivi ed immissioni laterali. Di qui la necessità di un approccio integrato di tipo idrologico-idraulico che consideri l'asta fluviale d'interesse, il relativo bacino afferente e le eventuali connessioni idrauliche laterali.

Le sollecitazioni idrologiche al sistema, costituite in generale da eventi caratterizzati da intensità di pioggia variabili nel tempo e nello spazio e dalle "condizioni iniziali" del bacino idrografico, vengono rappresentate da ietogrammi sintetici definiti in base alle Curve di Possibilità Pluviometrica per preassegnata durata di pioggia e tempo di ritorno. Attraverso la modellistica idrologica, vengono definiti gli idrogrammi di piena nelle sezioni prescelte del corso d'acqua considerato.

La propagazione dei deflussi di piena così generati e la valutazione dei fenomeni esondativi lungo l'asta fluviale considerata avviene tramite modelli idraulici, in grado di fornire in ogni sezione dell'asta fluviale l'idrogramma di piena in transito ed il massimo battente idraulico atteso, in modo tale da poter verificare l'efficienza delle strutture di contenimento o, in caso contrario, la sussistenza di fenomeni esondativi.

La modellistica permette di combinare l'approccio monodimensionale, a quello bidimensionale per la modellazione idraulica delle aree inondabili. L'integrazione tra i modelli avviene in modo dinamico, garantendo quindi la conservazione di massa e quantità di moto tra i vari sistemi. Gli alvei dei corsi d'acqua vengono modellati attraverso l'inserimento di sezioni trasversali, ricostruite a partire dai rilievi topografici e comprensive di tutte quelle strutture che interferiscono con il deflusso di piena, la rete fognaria viene modellata attraverso pozzetti e condotte, mentre le aree inondabili sono caratterizzate da un modello digitale del terreno che deriva dal rilievo lidar integrato dal rilievo topografico di dettaglio appositamente predisposto per il presente studio.

L'accoppiamento dei modelli avviene attraverso degli appositi elementi che definiscono:

- per la modellazione idraulica dell'alveo: in ogni sezione fluviale la quota di sfioro in destra e sinistra idraulica in modo tale che se vi è sormonto del contenimento idraulico si ha trasferimento di volumi a campagna;
- per la modellazione idraulica della rete fognaria: su ogni pozzetto la quota della testa pozzetto in modo tale che se la rete va in pressione e tale pressione genera livelli idraulici maggiori della testa pozzetto si ha trasferimento di volume a campagna.

 T E R N A G R O U P	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910	Codifica Elaborato <Fornitore>: Rev. < 00 >	

L'analisi idrologica idraulica volta a caratterizzare la pericolosità idraulica dell'area di indagine è stata implementata su due livelli di studio con scala di dettaglio crescente.

- Reticolo Principale che analizza il reticolo definito principale ai sensi del PGRA (Fiume Cornia);
- Reticolo Secondario: Fosso delle Gore e suo affluente in sinistra idraulica definiti ai sensi della LR 79/2012 come reticolo regionale di gestione

Per ognuno sono stati implementati modelli idrologici-idraulici volti a definire il livello di pericolosità indotto dal reticolo di riferimento.

Nel presente studio le sollecitazioni idrologiche afferenti al reticolo principale sono state estrapolate dalla consultazione dello studio "Indagini idrologico-idrauliche di supporto alla Variante Generale al Piano Strutturale d'Area dei comuni di Piombino e Campiglia Marittima" nel quale è stata eseguita una modellazione idrologica valutando le perdite con il metodo SCS-CN e la formazione dell'onda di piena tramite l'applicazione dell'idrogramma unitario SCS.

Per quanto riguarda la modellazione idrologica dei bacini relativi al reticolo secondario sono stati implementati due modelli idrologici distinti, che schematizzano le perdite per infiltrazione e la formazione dell'onda di piena con gli stessi metodi utilizzati nello studio idrologico del reticolo principale, con l'obiettivo di garantire una piena coerenza sui risultati.

Nei successivi paragrafi saranno descritti nel dettaglio i modelli implementati

 T E R N A G R O U P	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910 Rev. 00	Codifica Elaborato <Fornitore>: Rev. < 00 >	

6 ANALISI IDROLOGICA

Di seguito viene illustrata la modellistica idrologica implementata per la determinazione degli input pluviometrici e degli idrogrammi di piena che rappresentano gli input alla successiva modellistica idraulica.

I bacini idrografici oggetti dello studio e che potenzialmente hanno effetti di allagabilità sull'area dello stabilimento sono riportati nell'elaborato *DGDR10012B2011625 - Planimetria dei Bacini e del Reticolo Idrografico di Studio*.

L'analisi idrologica per i bacini del Reticolo Principale è desunta dallo studio a supporto della Variante al PS di Piombino e Campiglia di cui se ne riporta un estratto nel successivo paragrafo

Per la definizione degli input idrologici relativi al reticolo secondario e minore si sono utilizzati gli stessi modelli implementati per il reticolo principale. In particolare, tali modelli prevedono un modello di infiltrazione (SCS Curve Number) e un modello afflussi-deflussi per la trasformazione degli input pluviometrici netti, in idrogrammi sollecitanti il reticolo idraulico (SCS Unit Hydrograph).

Il modello di infiltrazione, SCS Curve Number, richiede la stima di due parametri:

- Ia (mm), è la perdita iniziale dovuta ad intercettazione e detenzione superficiale;
- CN (-), è un parametro sintetico che esprime l'attitudine di una porzione di territorio a produrre deflusso superficiale proposto dal Soil Conservation Service, derivato dallo shapefile del Curve Number (Regione Toscana)

6.1 Modellistica idrologica del Reticolo Principale

Nel presente paragrafo si riporta una sintesi dell'analisi idrologica implementata a supporto dello studio per la Variante Generale al PS dei Comuni di Piombino e Campiglia.

[.....]

per quanto attiene il Fiume Cornia ed il Fosso Riomerdancio, le sollecitazioni idrologiche dello scenario Singolo Bacino derivano dal modello idrologico redatto da HS Ingegneria nell'ambito del già citato studio di "Aggiornamento degli studi idrologico-idraulici di supporto al Regolamento Urbanistico" del Comune di Campiglia Marittima.

Tale studio ha utilizzato i seguenti modelli di calcolo:

- Pioggia Lorda ragguagliata – LSPP e Kr (secondo la metodologia congruente con quanto fatto nel presente studio);
- Modello di infiltrazione - Metodo del CN;
- Trasformazione afflussi –deflussi - Metodo dell'idrogramma SCS.

Si riportano di seguito alcuni estratti cartografici della schematizzazione idrologica utilizzata. Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati dello studio.

 Terna Rete Italia T E R N A G R O U P	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910	Codifica Elaborato <Fornitore>: 	Rev. < 00 >

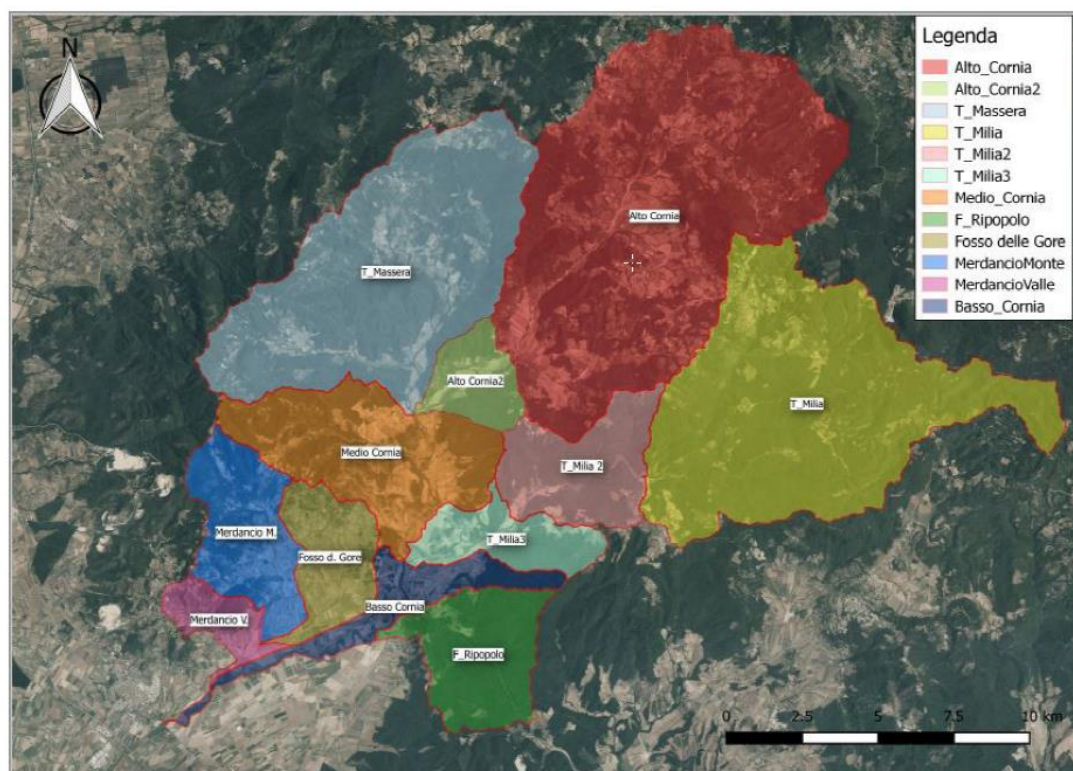


Figura 5: Bacini idrografici

I parametri del Curve Number fanno riferimento allo studio “Macroattività B - Modellazione idrologica Attività B2: Modellazione idrologica caso pilota. Implementazione modello distribuito per la Toscana MOBIDIC. Addendum: parametrizzazione HMS” (Università di Firenze, Regione Toscana, 2014)”.

È stata tuttavia effettuata una correzione a tale tabella in merito ai valori assegnati alle aree boscate (codici Corine 311, 312 e 313). Nella pubblicazione originale della Regione Toscana i valori di CN associati a tali aree risultano infatti quelli relativi all'uso del suolo “woods, fair hydrologic conditions” di cui alle tabelle del metodo CN redatte dall'USDA Natural Resources Conservation Service (Tabella 9-1, National Engineering Handbook, part 630 Hydrology, Chapter 9: Hydrologic Soil Cover complexes). In effetti nell'ambito della metodologia CN con il termine woods si intendono “small isolated groves of trees being raised for farm or ranch use”, tipologia di uso del suolo che ha un comportamento idrologico diverso rispetto a “Forest-range”, di cui allo stesso Chapter 9 del citato National Engineering Handbook, part 630 Hydrology. Nella letteratura tecnica sono peraltro presenti più studi che evidenziano la tendenziale sovrastima dei deflussi derivante dall'applicazione del metodo CN alle aree boscate.

Nello spirito di volersi mantenere coerenti con i valori di CN per aree boscate proposti dall'USDA (l'ente che ha sviluppato il metodo stesso del CN) si è provveduto a variare i valori adottati dalla Regione Toscana in corrispondenza delle aree boscate, come da tabella seguente:

 Terna Rete Italia T E R N A G R O U P	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910	Codifica Elaborato <Fornitore>: Rev. < 00 >	

	Valori Regione Toscana				Valori USDA			
	A	B	C	D	A	B	C	D
Boschi di latifoglie (311)	36	60	73	79	36	48	57	63
Boschi di conifere (312)	36	60	73	79	36	48	57	63
Boschi misti di latifoglie e conifere (313)	36	60	73	79	36	48	57	63

Tabella 1: Parametro CN per le aree boscate. Per la colonna A dei valori USDA si sono assunti gli stessi valori proposti dalla Regione Toscana, in assenza di indicazione sul National Engineering Handbook, part 630 Hydrology.

Di seguito si riporta la tabella riassuntiva dei parametri CN assegnati ai vari sottobacini. Viene riportato anche il valore del parametro CN desunto dai dati della Regione Toscana senza la correzione sopra esposta.

Si riporta il valore del CN in condizioni di umidità 3 (suolo saturo), con cui sono stati eseguiti i calcoli.

Sottobacini	CN3_RT	CN3_RT_USDA	% area boscata (codici Corine 311,312,313).
Alto_Cornia	86.27	82.42	57,0
T_Massera	82.69	78.14	74,3
Alto_Cornia2	83.67	77.1	67,7
T_Milia	85.2	77.85	84,6
T_Milia2	86.75	78.73	84,0
Medio_Cornia	81.89	78.37	51,6
T_Milia3	85.04	82.42	59,0
T_Ripopollo	82.26	74.12	87,3
Basso_Cornia	87.05	85.33	25,8
Merdancio_Monte	83.4	81.86	40,0
Merdancio_Valle	87.5	87.78	11,0
Fosso delle Gore	90.6	90.3	9,0

Tabella 2: Parametri CN valutati con diverse metodologie. Nella modellazione si sono assunti i valori riportati nella colonna CN3_RT_USDA.

Si riportano di seguito gli idrogrammi calcolati come somma dei contributi idrologici del Fiume Cornia e del Fosso Riomerdancio alla confluenza fra gli stessi.

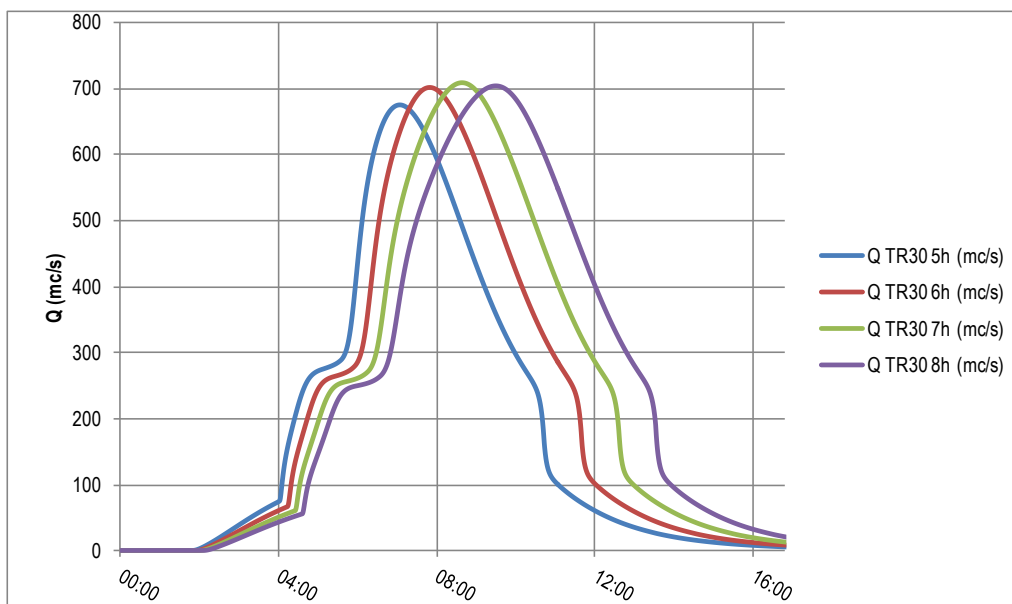


Figura 6: Idrogrammi tempo di ritorno = 30 anni per le durate di pioggia pari a 5,6,7 e 8 ore

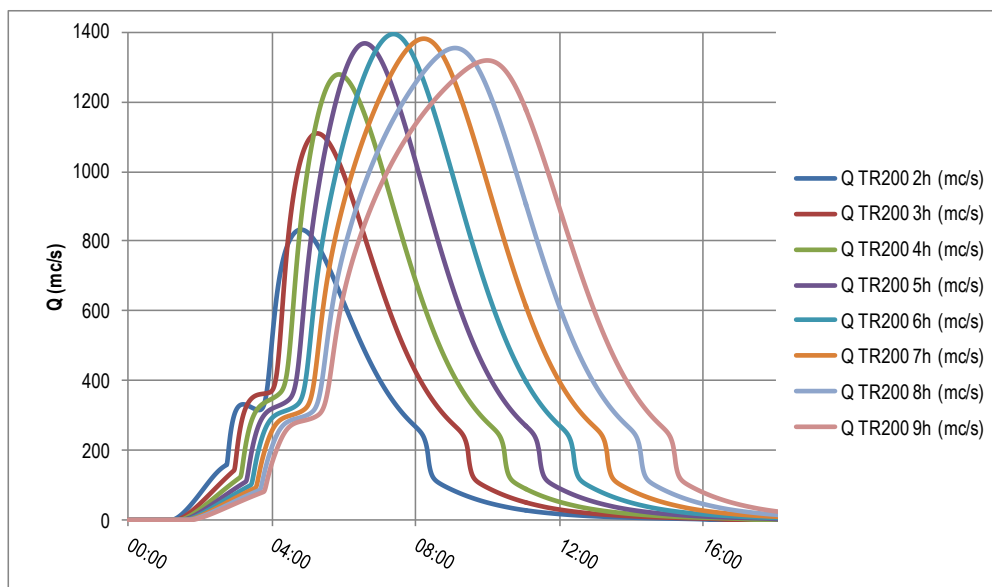


Figura 7: Idrogrammi tempo di ritorno = 200 anni per le durate di pioggia pari a 2,3,4,5,6,7, 8 e 9 ore

	d 2h	d 3h	d 4h	d 5h	d 6h	d 7h	d 8h	d 9h
TR 30	-	-	-	674.9	701.9	708.6	703.2	-
TR 200	833.33	1109.3	1280.45	1365.6	1392.3	1381.9	1355.1	1318.3

Tabella 3: Portate al colmo

Dai risultati si evince come la durata critica, ovvero la durata che massimizza il picco dell'onda di piena e pari a 7 ore per l'evento con tempo di ritorno minore uguale a 30 anni e di 6 ore per l'evento con tempo di ritorno minore o uguale a 200 anni.

[.....]

 Terna Rete Italia T E R N A G R O U P	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910	Codifica Elaborato <Fornitore>: 	Rev. < 00 >

6.2 Modellistica idrologica del Reticolo Secondario

Di seguito viene illustrata la modellistica idrologica implementata per la determinazione degli input pluviometrici e degli idrogrammi di piena sollecitanti il reticolo secondario

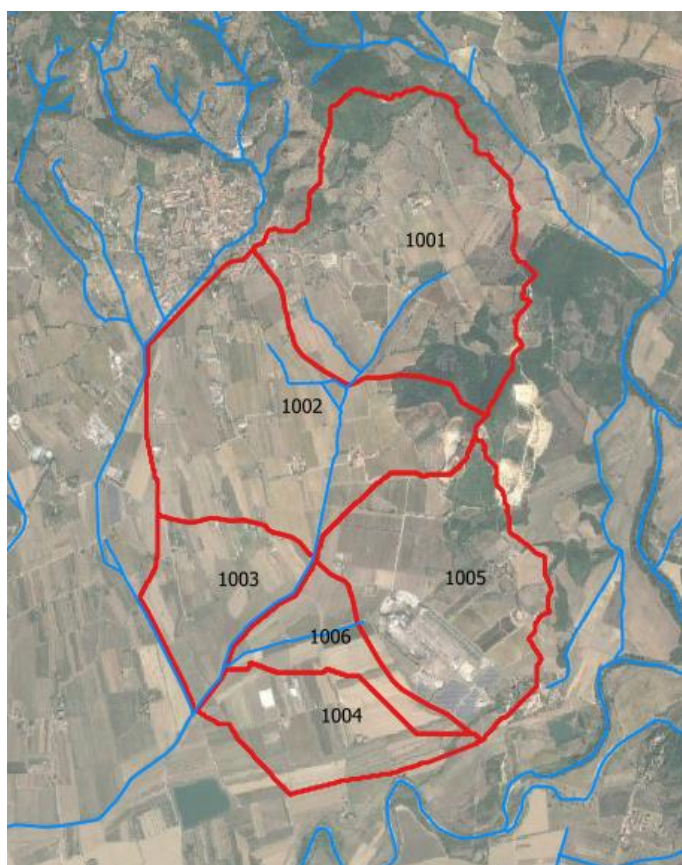
I bacini relativi ai reticoli in esame sono riportati alle seguenti tavole:

- *DGDR10012B2011625 - Planimetria dei Bacini e del Reticolo Idrografico di Studio*

6.2.1 Codifica dei bacini

I bacini del reticolo fluviale afferenti all'area di studio sono stati suddivisi in sottobacini e studiati dal punto di vista idrologico tenendo conto dei tratti fluviali simulati idraulicamente e della presenza di contributi laterali al reticolo di interesse. Sulla base di questo sono stati individuati bacini e sottobacini identificati da un codice di quattro caratteri.

La modellazione relativa al reticolo secondario ha previsto la seguente suddivisione in bacini e sottobacini idrografici:



Nome bacino	Codifica	Superficie (Km ²)
GORE_1	1001	2.27
GORE_2	1002	2.1
GORE_3	1003	0.72
GORE_4	1004	0.75
AFF_GORE_1	1005	1.6
AFF_GORE_2	1006	0.47

Figura 8: Schematizzazione idrologica del modello reticolo secondario

 Terna Rete Italia T E R N A G R O U P	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910	Codifica Elaborato <Fornitore>: 	Rev. < 00 >

6.2.2 Input Pluviometrici

Gli eventi meteorici studiati fanno riferimento a tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni su un set di durate dell'evento meteorico sintetico a cavallo della "durata critica" (durata che massimizza la portata al colmo). Questa scelta ci consente di studiare anche gli eventi che possono avere maggiori esondazioni in termini di volumi, anche se caratterizzati da picchi dell'onda di piena minori.

Nello specifico gli eventi meteorici studiati, in funzione del livello di studio sono i seguenti:

- Reticolo Secondario: Tr 30, 200 e 500 anni, durate 0.5h, 1.5h, 2h, 3h e 5h;

Per quanto riguarda gli aspetti pluviometrici, sono stati implementati i dati dello studio Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme (Regione Toscana, 2014), che fornisce i valori dei parametri a ed n delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica come raster a maglie di 1kmq, elaborabili in ambiente Gis. L'afflusso meteorico (altezza lorda di precipitazione) su un bacino di riferimento, per un dato tempo di ritorno e una data durata di pioggia, è stimato attraverso la seguente relazione:

$$h(t) = a t^n$$

con: h = altezza di pioggia [mm]; t = durata [ore], a e n parametri caratteristici per i tempi di ritorno considerati.

Osservando sperimentalmente le piogge intense è possibile affermare che, all'interno di una certa area, l'intensità di precipitazione durante l'evento piovoso varia da punto a punto, anche in maniera sensibile, e questa variazione è tanto maggiore quanto maggiore è l'estensione dell'area considerata. Per questo alla precipitazione lorda, calcolata rispetto alla sezione di calcolo, è normalmente applicato un coefficiente di ragguaglio dipendente dall'area del bacino e dalla durata dell'evento, in linea con la trattazione riportata nella Regionalizzazione delle Portate di Piena della Regione Toscana, secondo la seguente formulazione:

$$K_r = 1 - \exp(-\alpha t^\beta) + \exp(-\alpha A^\gamma)$$

dove t è la durata dell'evento, A è l'area del bacino sotteso e α , β , γ sono parametri dipendenti dalle caratteristiche del bacino considerato. Nel caso in esame, considerate le dimensioni ridotte dei bacini si è assunto $K_r = 1$.

Considerando la variabilità della pioggia sui bacini oggetto di studio si è scelto di utilizzare come pioggia lorda la pioggia media insistente sull'intero bacino del Fosso delle Gore

Pioggia lorda (mm) TR 30 ANNI					
d = 0.5 h	d = 1.0 h	d = 1.5 h	d = 2.0 h	d = 3.0 h	d = 5.0 h
50.21	60.33	67.17	72.49	80.71	92.40
Pioggia lorda (mm) TR 200 ANNI					
d = 0.5 h	d = 1.0 h	d = 1.5 h	d = 2.0 h	d = 3.0 h	d = 5.0 h
66.84	83.92	95.87	105.36	120.37	142.34
Pioggia lorda (mm) TR 500 ANNI					
d = 0.5 h	d = 1.0 h	d = 1.5 h	d = 2.0 h	d = 3.0 h	d = 5.0 h
76.06	96.42	110.77	122.23	140.42	167.25

Tabella 4: Altezza di pioggia lorda

 T E R N A G R O U P	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910 Rev. 00	Codifica Elaborato <Fornitore>: Rev. < 00 >	

6.3 Modello A/D per i corsi d'acqua naturali del Reticolo Secondario

Il modello numerico utilizzato per la determinazione dei contributi idrologici al reticolo idraulico oggetto di studio è composto da un modello di infiltrazione (SCS Curve Number) e un modello afflussi-deflussi per la trasformazione degli input pluviometrici netti, in idrogrammi sollecitanti il reticolo idraulico (SCS Unit Hydrograph).

Il modello di infiltrazione, SCS Curve Number, richiede la stima di due parametri:

- I_a (mm), è la perdita iniziale dovuta ad intercettazione e detenzione superficiale;
- CN (-), è un parametro sintetico che esprime l'attitudine di una porzione di territorio a produrre deflusso superficiale proposto dal Soil Conservation Service, derivato dallo shapefile del Curve Number (Regione Toscana)

I valori di CN, stimati a partire dalla pedologia e dall'uso del suolo, sono stati mutuati dallo shapefile pubblicato della Regione Toscana nell'ambito dell'Accordo di collaborazione tra Regione Toscana e Università di Firenze di cui alla DGRT 1133/2012. In particolare, sono stati calcolati i valori medi per ogni sottobacino del parametro CN-II (condizione di media umidità del suolo) utilizzati per il calcolo del parametro CN-III (condizione di elevata umidità del suolo). Il valore delle perdite iniziali (I_a) sono state stimate tramite la seguente relazione: $I_a = 0.2 S$.

Il modello di trasformazione afflussi-deflussi, SCS Unit Hydrograph, richiede la stima del parametro T_{lag} , tempo di ritardo, strettamente legato al tempo di corrivazione T_c . Le valutazioni dei tempi di corrivazione sono state effettuate calcolando la media dei valori derivanti dalle seguenti formulazioni:

Formula Ferro

$$T_c = 0,675 A^{0.5}$$

Formula dell' US SCS

$$T_c = \frac{0.095 L_{max}^{0.8} \left(\frac{1000 - 9CN}{CN} \right)^{0.7}}{\sqrt{i_v}}$$

Formula Pezzoli

$$T_c = 0,055 \frac{L}{\sqrt{i}}$$

Formula Ventura

$$T_c = 0,1272 \left(\frac{A}{i_a} \right)^{0.5}$$

Formula Pasini

$$T_c = 0,108 \frac{(AL)^{1/3}}{\sqrt{i_a}}$$

Formula Kirpich

$$T_c = 0,000325 (L \ 1000)^{0.77} i_b^{-0.385}$$

in cui:

 Terna Rete Italia T E R N A G R O U P	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910	Codifica Elaborato <Fornitore>: Rev. 00	Rev. < 00 >

A superficie del bacino in kmq, L lunghezza dell'asta principale in km, L_{max} lunghezza del massimo percorso idraulico in km, i_v pendenza media dei versanti, CN parametro CN del metodo SCS, i pendenza media dell'asta principale.

La parametrizzazione idrologica implementata per il reticolo secondario è riportata alla seguente tabella:

Nome bacino	Codifica	CN III	I_a (mm)	t_{lag} (min)
GORE_1	1001	89.2	6.1	21
GORE_2	1002	93.7	3.4	22
GORE_3	1003	92.4	4.2	26
GORE_4	1004	86.3	8.0	31
AFF_GORE_1	1005	92.3	4.2	21
AFF_GORE_2	1006	88.1	6.8	32

Tabella 5: parametri idrologici reticolo secondario

Dall'applicazione del modello idrologico precedentemente descritto sono stati determinati gli idrogrammi delle portate al variare del tempo di ritorno e della durata dell'evento meteorico, mostrati nelle seguenti figure. In definitiva sono stati valutati, per ciascun sottobacino, i seguenti idrogrammi:

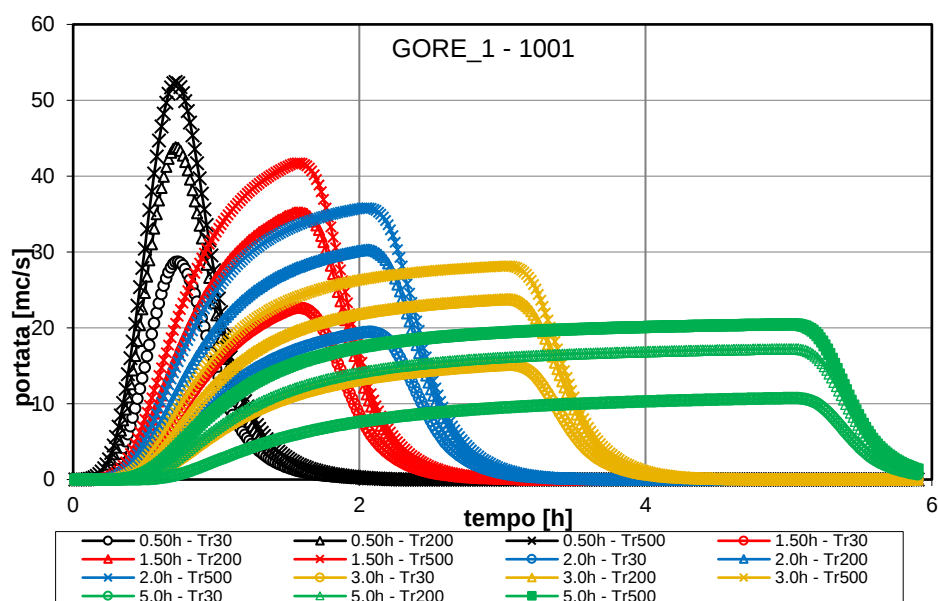


Figura 9: Idrogrammi delle portate bacino 1001.

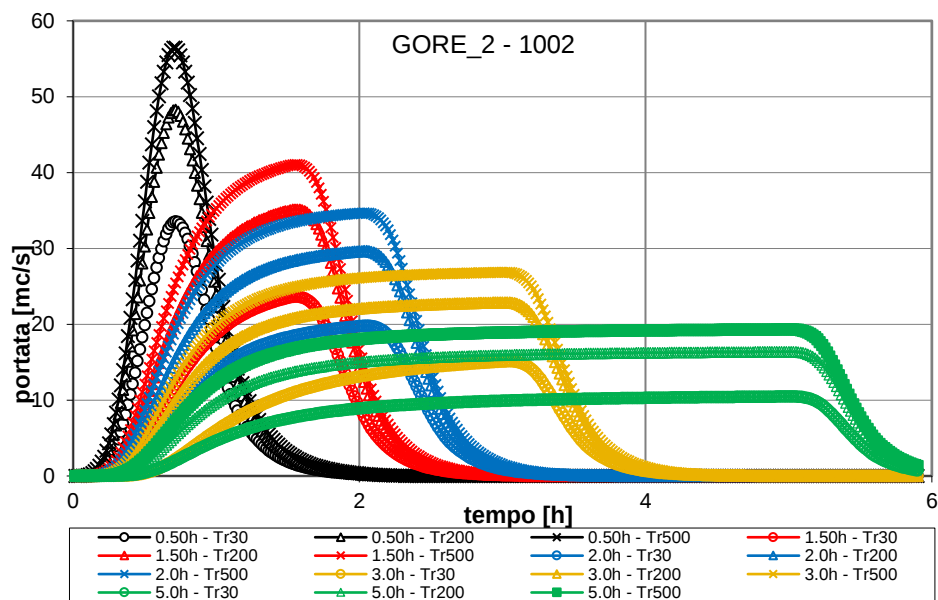


Figura 10: Idrogrammi delle portate bacino 1002.

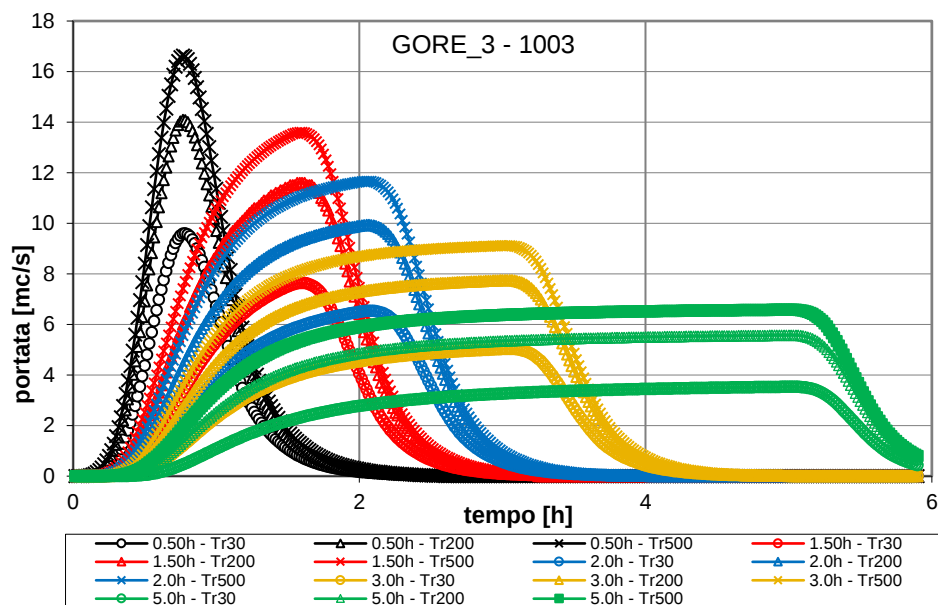


Figura 11: Idrogrammi delle portate bacino 1003.

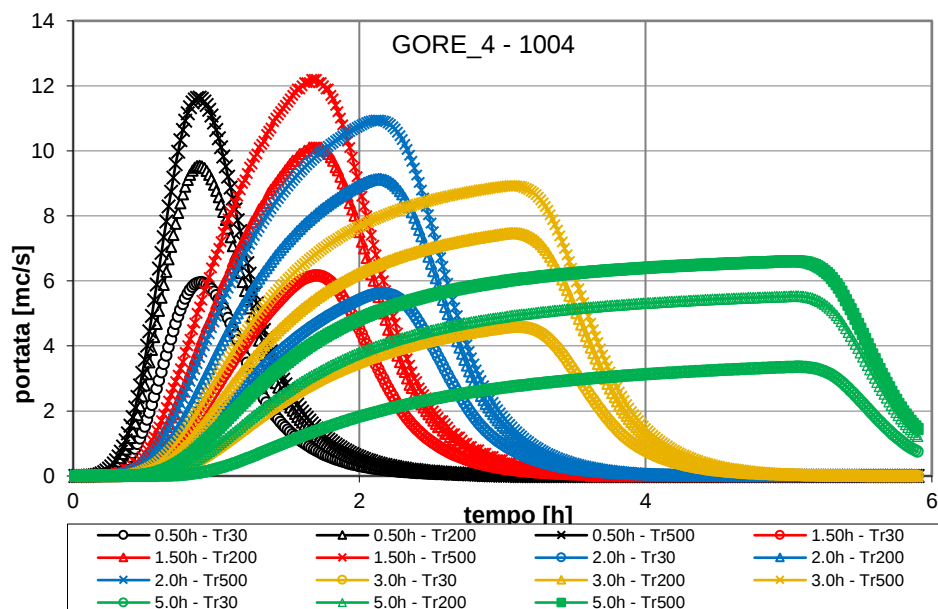


Figura 12: Idrogrammi delle portate bacino 1004.

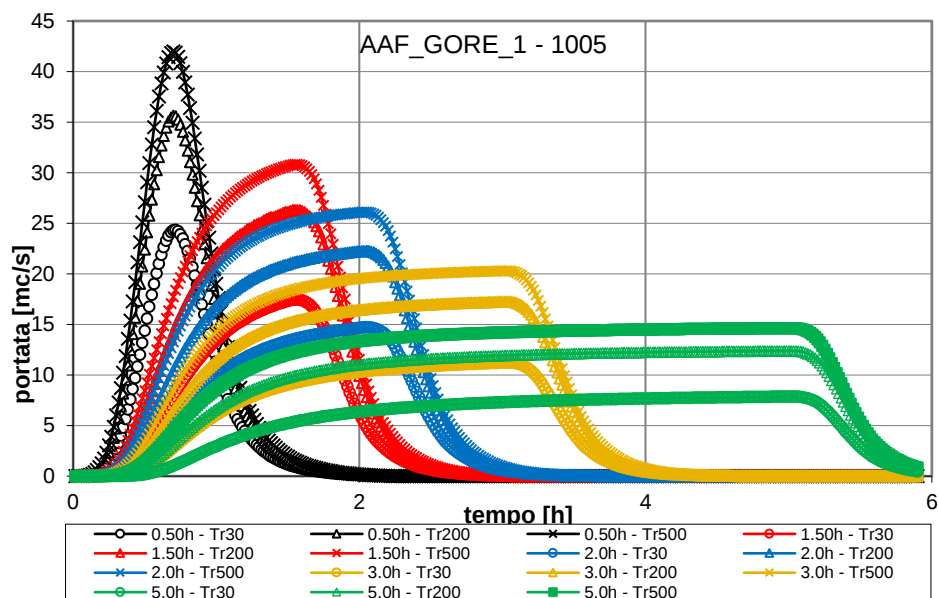
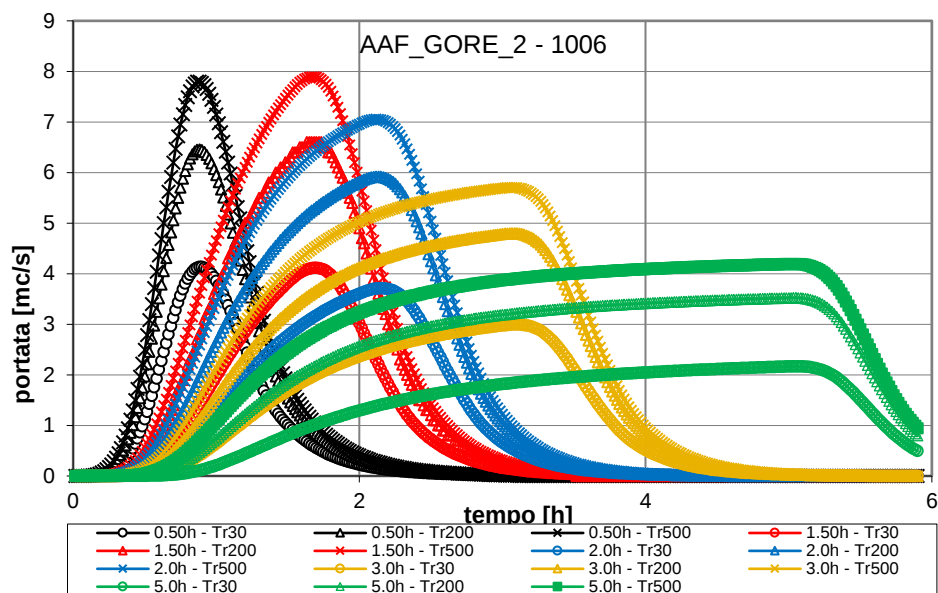


Figura 13: Idrogrammi delle portate bacino 1005


Figura 14: Idrogrammi delle portate bacino 1006

A sintesi dell'analisi idrologica implementata nel presente studio, si riportano di seguito i risultati ottenuti in termini di valori della portata al colmo al variare del tempo di ritorno e della durata dell'evento meteorico.

GORE_1 - 1001					
Q [mc/s]	Durata 0.50h	Durata 1.5h	Durata 2.0h	Durata3.0h	Durata5.0h
Tr30 anni	28.7	22.6	19.4	15.1	10.7
Tr200 anni	43.8	35.2	30.3	23.8	17.2
Tr500 anni	52.4	41.7	35.8	28.1	20.4

GORE_2 - 1002					
Q [mc/s]	Durata 0.50h	Durata 1.5h	Durata 2.0h	Durata3.0h	Durata5.0h
Tr30 anni	33.6	23.6	19.8	15.1	10.4
Tr200 anni	48.2	35.1	29.6	22.9	16.4
Tr500 anni	56.5	41.0	34.7	26.8	19.3

GORE_3 - 1003					
Q [mc/s]	Durata 0.50h	Durata 1.5h	Durata 2.0h	Durata3.0h	Durata5.0h
Tr30 anni	9.6	7.6	6.5	5.0	3.5
Tr200 anni	14.1	11.6	9.9	7.7	5.6
Tr500 anni	16.6	13.6	11.7	9.1	6.6

GORE_4 - 1004					
Q [mc/s]	Durata 0.50h	Durata 1.5h	Durata 2.0h	Durata3.0h	Durata5.0h
Tr30 anni	5.9	6.2	5.6	4.6	3.4
Tr200 anni	9.5	10.1	9.1	7.5	5.5
Tr500 anni	11.6	12.2	10.9	8.9	6.6

 Terna Rete Italia T E R N A G R O U P	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910	Codifica Elaborato <Fornitore>: Rev. < 00 >	

AFF_GORE_1 - 1005					
Q [mc/s]	Durata 0.50h	Durata 1.5h	Durata 2.0h	Durata3.0h	Durata5.0h
Tr30 anni	24.3	17.4	14.7	11.2	7.8
Tr200 anni	35.6	26.3	22.3	17.3	12.4
Tr500 anni	42.0	30.8	26.1	20.3	14.6

AFF_GORE_2- 1006					
Q [mc/s]	Durata 0.50h	Durata 1.5h	Durata 2.0h	Durata3.0h	Durata5.0h
Tr30 anni	4.1	4.1	3.7	3.0	2.2
Tr200 anni	6.5	6.6	5.9	4.8	3.5
Tr500 anni	7.8	7.9	7.1	5.7	4.2

Tabella 6: Riepilogo delle portate al variare del tempo di ritorno e della durata dell'evento meteorico su ciascun bacino.

 Terna Rete Italia T E R N A G R O U P	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910	Codifica Elaborato <Fornitore>: Rev. 00	Rev. < 00 >

7 ANALISI IDRAULICA

In questa sezione si descrivono i modelli idraulici implementati al fine di definire la pericolosità idraulica dell'area oggetto di studio. Come precedentemente anticipato la modellazione è stata effettuata implementando due modelli idraulici distinti relativi a ciascun reticolo idrografico potenzialmente interferente con l'area della stazione elettrica (Principale e Secondario)

L'implementazione della modellistica idraulica è stata effettuata attraverso il software MIKE del Danish Hydraulic Institute di DHI, certificato dalla F.E.M.A. (Federal Emergency Management Agency).

Il comportamento idraulico in alveo del reticolo idrografico in esame è stato simulato attraverso un modello monodimensionale (MIKE 11) con la schematizzazione geometrica delle sezioni fluviali ricavata dall'acquisizione dei dati del rilievo topografico. Le dinamiche di esondazione (tracimazione delle acque e conseguente propagazione sul piano campagna) sono state simulate con un modello bidimensionale, a partire dal modello digitale del terreno mutuato dal LIDAR. MIKE FLOOD permette l'accoppiamento dei due modelli in modo totalmente dinamico, garantendo la conservazione di massa e quantità di moto tra i diversi sistemi.

Per ulteriori dettagli si rimanda all'*Appendice C - Modellistica idraulica - fondamenti teorici*

7.1 Implementazione del modello idraulico del Reticolo Principale

Come precedentemente anticipato il modello idraulico implementato per il reticolo principale prende avvio a partire dal modello idraulico definito nello studio "Indagini idrologico-idrauliche di supporto alla Variante Generale al Piano Strutturale d'Area dei comuni di Piombino e Campiglia Marittima" (anno 2019). In particolare a partire da quest'ultimo modello è stata estesa verso monte la modellazione dell'asta del Fiume Cornia per 3.7 Km mediante l'aggiunta di 17 sezioni fluviali ricavate a partire dai rilievi topografici effettuati dal Consorzio di Bonifica Toscana Costa nel 2004.

Le sezioni fluviali sono individuate attraverso un codice alfanumerico che contiene al proprio interno le seguenti informazioni:

(Esempio: sezione 01542PB03)

- 5 caratteri (Esempio: 01542) identificativo del codice della sezione, in questo caso è la 1542
- 2 caratteri (Esempio: PB) identificativo delle opere idrauliche; se non presenti si utilizzano i caratteri: __
- 2 caratteri (Esempio:03) identificativo dell'anno del rilievo topografico

All'interno del dominio di calcolo, la morfologia del territorio è rappresentata da un modello digitale del terreno (DEM) a celle di dimensioni 10x10 m. Il DEM è stato ricavato ricampionando il LIDAR del Ministero dell'Ambiente con celle di dimensioni 1x1 m.

Si precisa che il modello contiene anche l'asta fluviale del Rio Merdancio, affluente in destra del Fiume Cornia.

Per quanto riguarda la scabrezza delle aree limitrofe al corso d'acqua, simulate dal modello bidimensionale, è stato adottato un coefficiente di Manning variabile spazialmente, determinato associando ad ogni classe di uso del suolo un coefficiente, sulla base di una analisi della letteratura in materia.

Per ulteriori dettagli si rimanda al sopracitato studio.

 Terna Rete Italia T E R N A G R O U P	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910	Codifica Elaborato <Fornitore>: 	Rev. < 00 >

Si veda *DGDR10012B2011626 - Planimetria Modello Idraulico - Inquadramento Sezioni* in cui sono riportate le tracce fluviali implementate.

Le condizioni al contorno del modello idraulico sono rappresentate da:

- Sollecitazioni idrologiche in testa ad ogni tratto simulato idraulicamente direttamente derivate dal modello di riferimento;
- Livello idrometrico del mare, quale condizione di valle sia del modello monodimensionale che del dominio di calcolo bidimensionale, pari a 0.5 m slm.

La schematizzazione geometrica è stata cimentata su eventi caratterizzati da tempo di ritorno pari a 30, 200 e 500 anni con durata dell'evento di pioggia 7h. La scelta di simulare solamente l'evento di pioggia a 7h ore deriva dal fatto che tale evento, rappresenta l'evento critico per il quale si raggiungono i massimi livelli in alveo del Fiume Cornia in prossimità dell'area di indagine del presente studio.

7.2 Risultati della modellistica idraulica del Reticolo Principale

La modellistica idraulica implementata ha evidenziato che il Fiume Cornia non genera pericolosità idraulica nell'area della stazione elettrica in quanto le esondazioni in destra idraulica del Fiume Cornia si manifestano su sezioni ubicate a valle della stazione elettrica.

Si riporta di seguito un estratto della planimetria dei battenti per eventi con TR200 anni dal quale si evince che le esondazioni si estendono a campagna per circa 700 m a monte della confluenza tra Fosso delle Gore e Riomerdancio

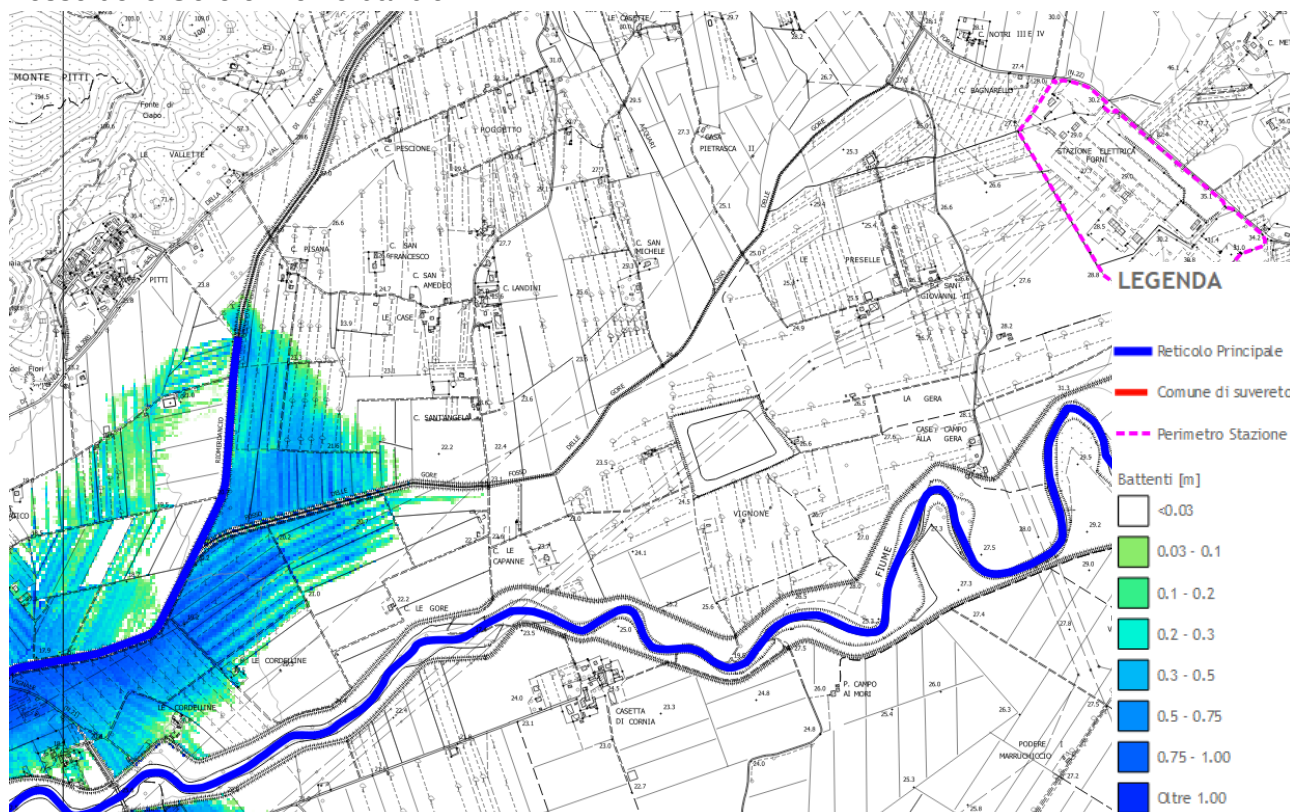


Figura 15: estratto della planimetria dei battenti TR200 anni - reticolo principale

 T E R N A G R O U P	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910 Rev. 00	Codifica Elaborato <Fornitore>: Rev. < 00 >	

I risultati sono riportati nelle seguenti tavole:

- *DGDR10012B2011629 - Libretto delle Sezioni con Livelli Idrometrici TR30 - TR200 - TR500 anni - Reticolo Principale*
- *DGDR10012B2011735 - Planimetria dei Battenti Idrometrici Massimi TR 30 anni - Reticolo Principale*
- *DGDR10012B2011736 - Planimetria dei Battenti Idrometrici Massimi TR 200 anni - Reticolo Principale*
- *DGDR10012B2011737 - Planimetria dei Battenti Idrometrici Massimi TR 500 anni - Reticolo Principale*
- *DGDR10012B2011837 - Planimetria delle Velocità Massime TR 30 anni - Reticolo Principale*
- *DGDR10012B2011946 - Planimetria delle Velocità Massime TR 200 anni - Reticolo Principale*
- *DGDR10012B2011947 - Planimetria delle Velocità Massime TR 500 anni - Reticolo Principale*

7.3 Implementazione del modello idraulico del Reticolo Secondario

Nel modello idraulico implementato per definire la pericolosità idraulica riconducibile al reticolo secondario sono stati modellati il Fosso delle Gore e il relativo affluente in sinistra idraulica. Quest'ultimo è stato modellato per una estensione verso monte pari a quella definita secondo il reticolo approvato dalla Regione Toscana con legge 79 del 2012.

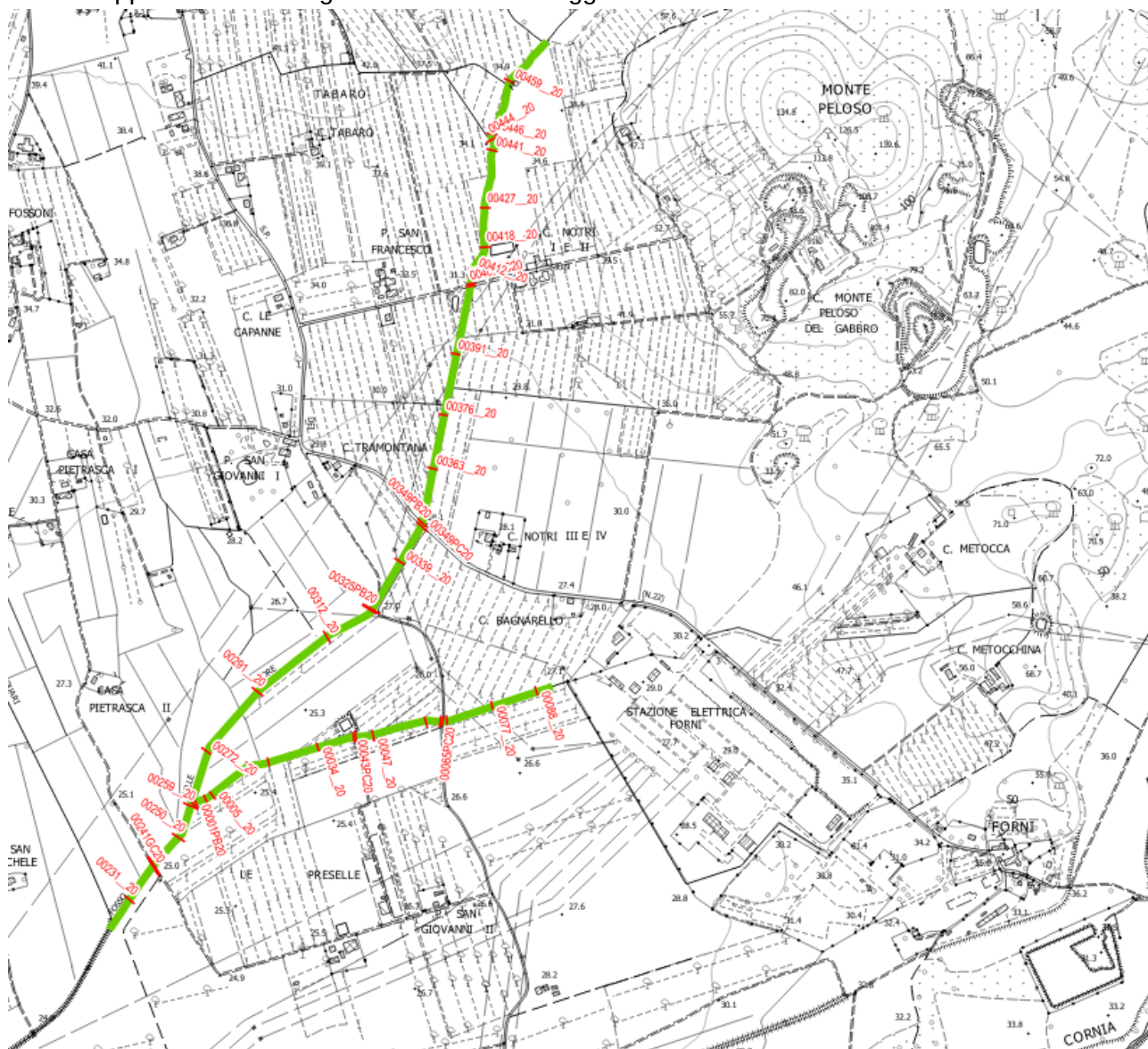


Figura 16: estensione del modello idraulico del reticolo secondario

In definitiva in Fosso delle Gore è studiato per una lunghezza di circa 2.5 km discretizzato su 25 sezioni fluviali comprendenti 4 opere di attraversamento; l'affluente in sinistra è studiato per una lunghezza di circa 900m discretizzato su 16 sezioni fluviali comprendenti 2 opere di attraversamento.

La caratterizzazione geometrica dei corsi d'acqua studiati è stata ricavata a partire dal rilievo descritto in precedenza.

 T E R N A G R O U P	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910 Rev. 00	Codifica Elaborato <Fornitore>: Rev. < 00 >	

Le sezioni fluviali sono individuate attraverso un codice alfanumerico che contiene al proprio interno le seguenti informazioni:

(Esempio: sezione 01542PB03)

- 5 caratteri (Esempio: 01542) identificativo del codice della sezione, in questo caso è la 1542
- 2 caratteri (Esempio: PB) identificativo delle opere idrauliche; se non presenti si utilizzano i caratteri: __
- 2 caratteri (Esempio:03) identificativo dell'anno del rilievo topografico

L'area adiacente al corso d'acqua, potenzialmente allagabile, è stata descritta mediante una griglia di calcolo strutturata con "celle" di dimensioni 5X5 m. Le quote altimetriche della griglia di calcolo sono derivate dal rilievo Lidar del Ministero dell'Ambiente con risoluzioni spaziale 1X1 m. La discretizzazione spaziale a 5 metri consente di mantenere inalterate le informazioni spaziali principali; sono infatti leggibili tutti cambi morfologici.

Si veda *DGDR10012B2011627 - Planimetria Modello Idraulico - Reticolo Secondario* in cui sono riportate le tracce fluviali implementate.

Le condizioni al contorno del modello idraulico sono rappresentate da:

- Sollecitazioni idrologiche in testa ad ogni tratto simulato idraulicamente;
- Immissioni idrologiche distribuite, nel caso di contributo derivante da un interbacino che non presentano un reticolo idrografico di riferimento;
- Scala di deflusso, calcolata nell'ipotesi di moto uniforme, a valle del modello monodimensionale.

Di seguito si riporta la tabella di sintesi con l'indicazione delle condizioni al contorno utilizzate nella modellazione idraulica del reticolo di studio. La codifica delle immissioni e delle sollecitazioni idrologiche riprende la codifica dei bacini che le generano.

Tipologia immissione	Corso d'acqua	Da sezione	A sezione	Codice
Puntuale	Gore	00459_20	-	1001
Distribuita	Gore	00459_20	00363_20	1002
Distribuita	Gore	00349PC20	00259_20	1003
Distribuita	Gore	00250_20	00231_20	1004
Puntuale	Afluente Gore	00088_20	-	1005
Distribuita	Afluente Gore	00088_20	00001PB20	1006

Tabella 7: Condizioni al contorno del modello idraulico reticolo secondario

 T E R N A G R O U P	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910 Rev. 00	Codifica Elaborato <Fornitore>: Rev. < 00 >	

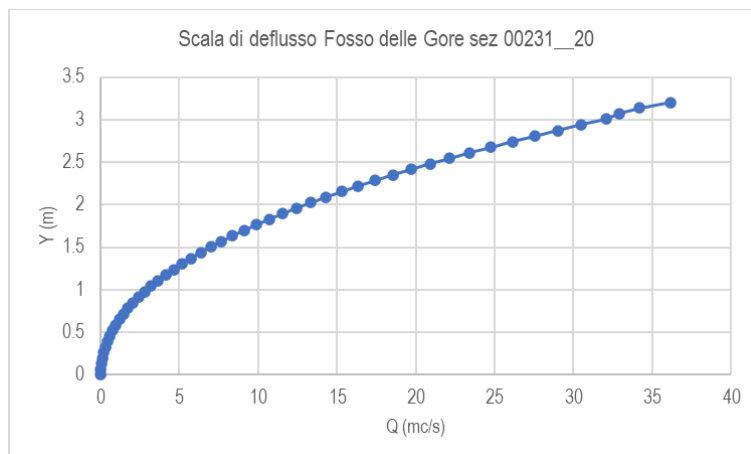


Figura 17: Scala di deflusso Fosso delle Gore

Per ciò che attiene ai coefficienti di scabrezza da associare alle singole sezioni fluviali, attraverso il confronto con i parametri riportati in letteratura ed il supporto dei sopralluoghi e documentazioni fotografiche, si è scelto di assegnare un coefficiente di Manning pari a $0.035 \text{ s/m}^{1/3}$ per le sezioni fluviali e $0.025 \text{ s/m}^{1/3}$ alle opere idrauliche, ponti e tombamenti.

Per quanto riguarda la scabrezza delle aree limitrofe al corso d'acqua, simulate dal modello bi-dimensionale, è stato scelto di adottare un coefficiente di Manning costante pari a $0.05 \text{ s/m}^{1/3}$. La scelta è motivata dal fatto che la zona è caratterizzata per il 90% dell'estensione da campi coltivati per i quali è associabile tale coefficiente.

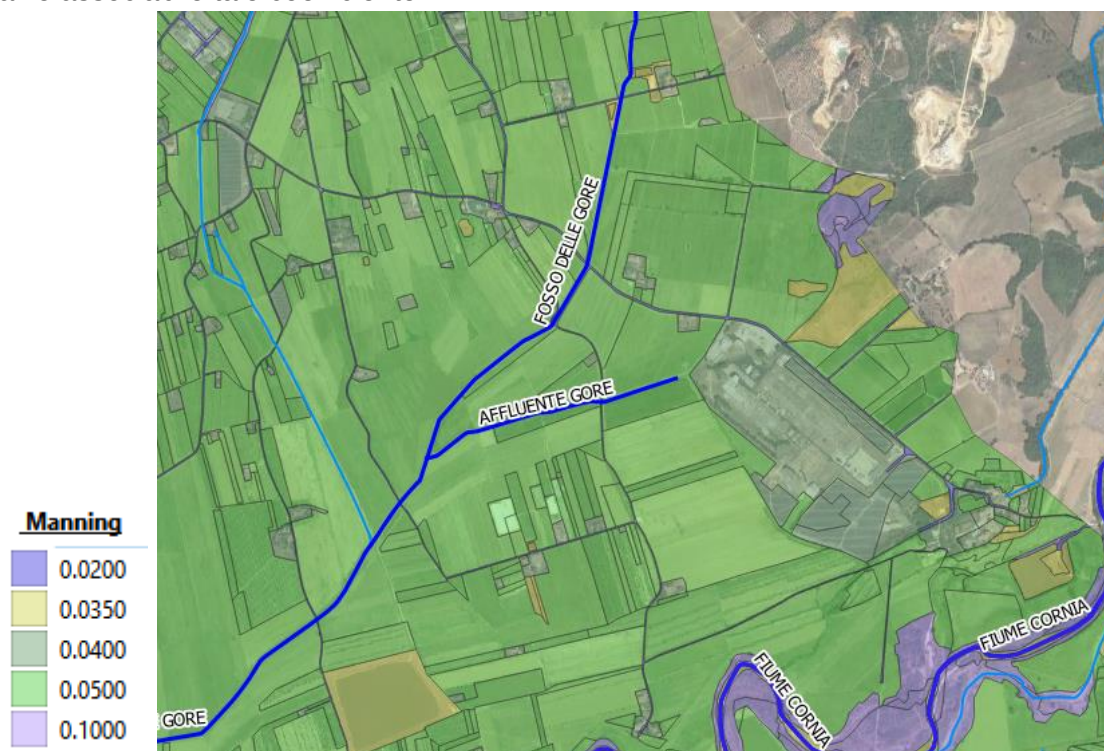


Figura 18: Variabilità spaziale del valore del coefficiente di Manning.

 Terna Rete Italia T E R N A G R O U P	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910	Codifica Elaborato <Fornitore>: 	Rev. < 00 >

La schematizzazione geometrica che rappresenta lo stato attuale dei luoghi è stata cimentata sugli scenari idrologici descritti in precedenza; in particolare sono stati implementati i seguenti eventi:

- TR30 anni con durata 0.5h, 1.5h, 2.0h, 3.0h e 5.0h;
- TR200 anni con durata 0.5h, 1.5h, 2.0h, 3.0h e 5.0h.
- TR500 anni con durata 0.5h, 1.5h, 2.0h, 3.0h e 5.0h.

7.4 Risultati della modellistica idraulica del Reticolo Secondario

I risultati della modellistica idraulica hanno evidenziato delle insufficienze diffuse del reticolo idrografico secondario a partire da tempi di ritorno trentennali. Tuttavia i fronti di esondazione non interessano l'area della stazione elettrica.

Di seguito si riporta un estratto della planimetria dei battenti per eventi con TR200 anni

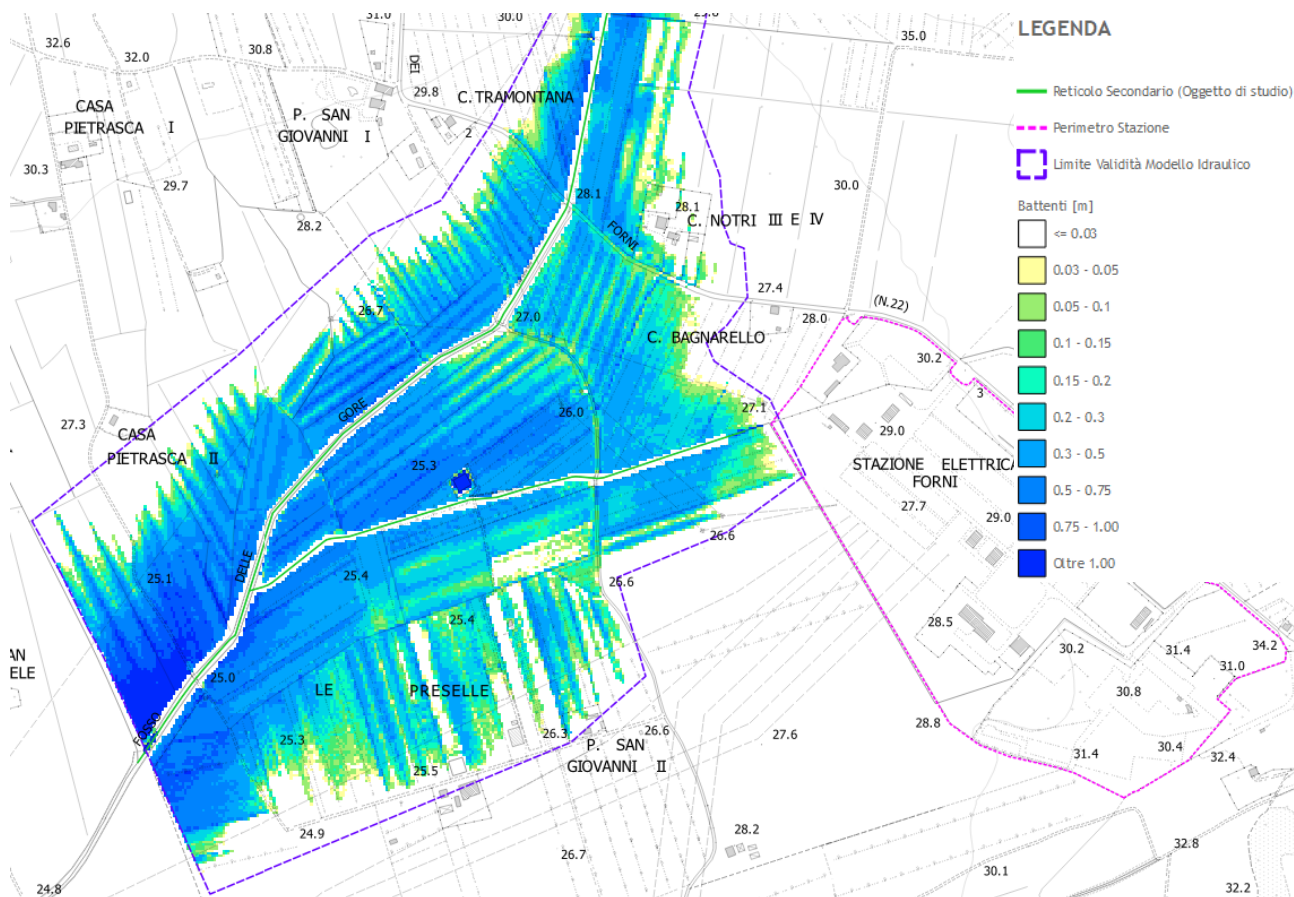


Figura 19: estratto della planimetria dei battenti TR200 anni - reticolo secondario

A partire dai risultati delle simulazioni idrauliche, per ogni tempo di ritorno e durate dell'evento meteorico, sono stati ricavati battenti e velocità massime, sull'intera area di studio.

I risultati finali della modellazione idraulica sono stati ottenuti involupando i risultati relativi a ciascun tempo di ritorno indagato e vengono riportati nelle seguenti tavole:

 Terna Rete Italia T E R N A G R O U P	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910	Codifica Elaborato <Fornitore>: Rev. < 00 >	

- *DGDR10012B2011733 - Libretto delle Sezioni con Livelli Idrometrici TR30 - TR200 - TR500 anni - Reticolo Secondario*
- *DGDR10012B2011738 - Planimetria dei Battenti Idrometrici Massimi TR 30 anni - Reticolo Secondario*
- *DGDR10012B2011832 - Planimetria dei Battenti Idrometrici Massimi TR 200 anni - Reticolo Secondario*
- *DGDR10012B2011833 - Planimetria dei Battenti Idrometrici Massimi TR 500 anni - Reticolo Secondario*
- *DGDR10012B2011948 - Planimetria delle Velocità Massime TR 30 anni - Reticolo Secondario*
- *DGDR10012B2011949 - Planimetria delle Velocità Massime TR 200 anni - Reticolo Secondario*
- *DGDR10012B2011950 - Planimetria delle Velocità Massime TR 500 anni - Reticolo Secondario*

 T E R N A G R O U P	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910 Rev. 00	Codifica Elaborato <Fornitore>: Rev. < 00 >	

8 CLASSIFICAZIONE DELLE AREE A PERICOLOSITA' IDRAULICA

A partire dai risultati dei modelli idraulici implementati sono state determinate le aree a pericolosità idraulica.

Per il reticolo principale e secondario la classificazione delle aree allagate è definita ai sensi del DPGR 5R/2020 e del PGRA. Si definisce quindi

- Aree allagate per eventi TR30 anni
Aree a pericolosità per alluvioni frequenti ai sensi del DPGR 5R/2020
Aree a pericolosità da alluvione elevata (P3) ai sensi del PGRA
- Aree allagate per eventi TR200 anni
Aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti ai sensi del DPGR 5R/2020
Aree a pericolosità da alluvione media (P2) ai sensi del PGRA
- Aree allagate per eventi con TR500 anni
Aree a pericolosità da alluvioni rare o di estrema intensità ai sensi del DPGR 5R/2020
Aree a pericolosità da alluvione bassa (P1) ai sensi del PGRA

Si veda l'elaborato:

- *DGDR10012B2012178 - Planimetria delle Aree Allagate - Reticolo Principale e Secondario*

9 DETERMINAZIONE DELLA MAGNITUDO IDRAULICA

La L.R. 41//2018 - Disposizioni in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del Decreto Legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 (Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni). Modifiche alla L.R. 80/2015 e alla L.R. 65/2014 - aggiorna la disciplina della gestione del rischio di alluvioni in relazione alle trasformazioni del territorio e la tutela dei corsi d'acqua.

Ai sensi della L.R. 41//2018, vengono introdotti i seguenti concetti:

- “scenario per alluvioni frequenti”: lo scenario di cui all'articolo 6, comma 2, lettera c), del d.lgs. 49/2010, individuato negli atti di pianificazione di bacino e definito dai medesimi atti con riferimento al tempo di ritorno non inferiore a trenta anni;
- “scenario per alluvioni poco frequenti”: lo scenario di cui all'articolo 6, comma 2, lettera b) del d.lgs. 49/2010, individuato negli atti di pianificazione di bacino e definito dai medesimi atti con riferimento al tempo di ritorno non inferiore a duecento anni;
- “magnitudo idraulica”: la combinazione del battente e della velocità della corrente in una determinata area, associata allo scenario relativo alle alluvioni poco frequenti:
 - “magnitudo idraulica moderata”: valori di battente inferiore o uguale a 0.5 metri e velocità inferiore o uguale a 1 metro per secondo (m/s). Nei casi in cui la velocità non sia determinata, battente uguale o inferiore a 0.3 metri;
 - “magnitudo idraulica severa”: valori di battente inferiore o uguale a 0.5 metri e velocità superiore a 1 metro per secondo (m/s) oppure battente superiore a 0.5 metri e inferiore o uguale a 1 metro e velocità inferiore o uguale a 1 metro per secondo (m/s). Nei casi in cui la velocità non sia determinata, battente superiore a 0.3 metri e inferiore o uguale a 0.5 metri;
 - “magnitudo idraulica molto severa”: battente superiore a 0.5 metri e inferiore o uguale a 1

 Terna Rete Italia T E R N A G R O U P	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910	Codifica Elaborato <Fornitore>: Rev. < 00 >	
	Rev. 00	

metro e velocità superiore a 1 metro per secondo (m/s) oppure battente superiore a 1 metro.
Nei casi in cui la velocità non sia determinata battente superiore a 0.5 metri.

Alla luce delle definizioni di cui sopra, a partire dai risultati dei modelli idraulici implementati per la definizione delle aree soggette ad inondazione per eventi con $Tr=200$ anni sul reticolo principale e secondario, sono stati estrapolati i dati relativi ai battenti ed alle velocità della corrente attese sul territorio esaminato. Noti i battenti idraulici e le velocità, si è proceduto alla definizione della magnitudo idraulica, così come definita nella L.R. 41/2018. Il risultato finale delle elaborazioni svolte è riportato nell'elaborato *DGDR10012B2012274 - Planimetria della Magnitudo Idraulica ai sensi della L.R. 41/2018 - Reticolo Principale e Secondario*

 T E R N A G R O U P	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910 Rev. 00	Codifica Elaborato <Fornitore>: Rev. < 00 >	

Appendice A - Modellistica idrologica

A.1 APPROCCIO METODOLOGICO

La modellistica idrologica per la determinazione dell'idrogramma di piena in una o più sezioni fluviali di un bacino idrografico deve significativamente rappresentare tutte le fasi che si hanno a partire dalla distribuzione delle piogge insistenti sul bacino, fino alla valutazione dell'onda di piena.

La trasformazione da pioggia al suolo a portata nella sezione di chiusura avviene secondo una cascata di processi. L'ingresso principale al modello è costituito da una serie di altezze di pioggia. La quota parte di tali precipitazioni che andrà in scorrimento superficiale, detta anche precipitazione efficace (netta), viene valutata con un opportuno *modello di trasformazione afflussi–deflussi*, per la stima della produzione di deflusso idealmente in ciascun punto del bacino, avente la dimensione di una portata per unità di area. Infine, il processo di concentrazione dei deflussi nel reticolo idrografico e di trasferimento lungo questo fino alla sezione di chiusura verrà rappresentato tramite un opportuno *modello di formazione dell'onda di piena*.

La metodologia alla base degli studi effettuati mira ad un'agevole caratterizzazione degli eventi in termini di tempi di ritorno e durata dell'evento meteorico; conseguenza diretta, la possibilità di definire i livelli di rischio in funzione della probabilità di accadimento. Ciò si ottiene facilmente attraverso una procedura semplificata di generazione di eventi sintetici, che si basa sull'ipotesi di isofrequenza fra evento meteorico e portata in alveo (Tr evento di pioggia = Tr idrogramma di piena).

A.2 REGIME PLUVIOMETRICO - STUDIO REGIONALE LSPP

Il regime pluviometrico è stato caratterizzato sulla base dei risultati prodotti dal gruppo di lavoro dell'attività "Modellazione idrologica", nell'ambito dell'Accordo stipulato tra la Regione Toscana e il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Firenze, per lo sviluppo di attività di ricerca sulla Mitigazione del Rischio Idraulico nella Regione Toscana.

Nell'ambito di tale lavoro sono state fornite le griglie regionali dei parametri a ed n per i diversi tempi di ritorno (2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200 e 500 anni). Per le durate caratteristiche, sono state elaborate le griglie di risoluzione 1 km dei valori estremi delle altezze di pioggia, per i tempi di ritorno suddetti.

La previsione quantitativa dei valori estremi di pioggia in un determinato punto è stata effettuata anche attraverso la determinazione della curva o linea segnalatrice di probabilità pluviometrica (LSPP), cioè della relazione che lega l'altezza di precipitazione alla sua durata, per un assegnato tempo di ritorno.

La LSPP è comunemente descritta da una legge di potenza del tipo:

$$h(t) = at^n$$

con: h = altezza di pioggia [mm]; t = durata [ore], a e n parametri caratteristici per i tempi di ritorno considerati.

Note le altezze di pioggia per durate e tempi di ritorno per cui sono fornite le suddette griglie è possibile determinare, tramite regressione logaritmica, i parametri a ed n relativi a tempi di ritorno (Tr 300 anni) per cui non sono fornite griglie e, di conseguenza, le altezze di pioggia relative alle durate desiderate.

A.3 CALCOLO DELLA PIOGGIA DI PROGETTO SU UN BACINO IDROGRAFICO

Dalle linee guida della Regione Toscana è possibile definire la metodologia di calcolo delle altezze di pioggia su un bacino idrografico.

 Terna Rete Italia T E R N A G R O U P	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910	Codifica Elaborato <Fornitore>: 	Rev. < 00 >

Per calcolare l'altezza di pioggia su un bacino idrografico è necessario individuare lo spartiacque del bacino imbrifero e, una volta scelto il tempo di ritorno, è possibile utilizzare i parametri a e n della LSPP per la valutazione delle altezze di pioggia.

Noti i parametri a e n della LSPP per assegnato T_r , viene definita la durata t dell'evento. Per un bacino idrografico si usa $t=t_{cr}$ (tempo critico), solitamente assunto pari al tempo di corrivazione t_c . È possibile quindi trovare l'altezza di pioggia in ogni cella tramite la relazione:

$$h(t) = at_c^n$$

con: h = altezza di pioggia [mm]; t_c = tempo di corrivazione [ore], a e n parametri caratteristici.

La stima dell'altezza di pioggia con l'equazione precedente può essere effettuata tramite software GIS con un tool tipo **RasterCalculator**. Una volta trovata l'altezza di pioggia h in ogni cella, per la durata e il tempo di ritorno stabilito, è sufficiente calcolare il valore medio sul bacino idrografico.

A.4 MODELLO DI INFILTRAZIONE DEL TERRENO: METODO SCS-CN

Per il calcolo delle perdite di bacino è stato adottato il metodo del Curve Number, modello di rifiuto del terreno sviluppato dal Soil Conservation Service degli Stati Uniti.

Si tratta di un modello empirico che stima la predisposizione dei suoli a contribuire ai deflussi di piena mediante l'analisi di tre fattori: le caratteristiche di permeabilità dei terreni superficiali e degli strati geologici immediatamente sottostanti, l'uso del suolo e la copertura vegetale, lo stato di imbibimento del terreno all'inizio della sollecitazione meteorica.

La relazione fondamentale per la stima della precipitazione efficace è la seguente:

$$\begin{cases} P_{eff} = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} & P \geq I_a \\ P_{eff} = 0 & P < I_a \end{cases}$$

dove P_{eff} è la precipitazione efficace cumulata al tempo t , P è la precipitazione totale cumulata allo stesso istante, I_a è la perdita iniziale ed S è il fattore di ritenzione potenziale, ovvero il massimo volume specifico di acqua che il terreno può trattenere in condizioni di saturazione.

Con l'introduzione di I_a si vuol tenere conto di quel complesso di fenomeni, quali l'intercettazione da parte della vegetazione e l'accumulo nelle depressioni superficiali del terreno, che ritardano il verificarsi del deflusso superficiale.

I due parametri I_a ed S si dovranno determinare mediante operazioni di taratura del modello. Dall'analisi di risultati ottenuti dall' SCS in numerosi piccoli bacini sperimentali americani, è stata proposta una relazione empirica che lega i 2 parametri:

$$I_a = cS$$

con c posto pari a 0.2.

In questo modo è possibile definire il deflusso netto in funzione dell'afflusso meteorico, una volta fissato il valore di S .

Il parametro S dipende dalla possibilità di infiltrazione dell'acqua in condizioni di terreno già saturato, dall'insieme delle condizioni del suolo (uso, trattamento della superficie, drenaggio) e dal contenuto di umidità iniziale dello stesso (AMC, Antecedent Moisture Condition).

 Terna Rete Italia T E R N A G R O U P	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910	Codifica Elaborato <Fornitore>: Rev. < 00 >	

L'effetto di tutti questi fenomeni viene rappresentato globalmente introducendo un parametro adimensionale, il Curve Number (CN), legato ad S tramite la relazione:

$$S = S_0 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

dove S_0 è una costante di scala dimensionale, che riflette l'unità di misura adottata.
Nel sistema metrico, $S_0 = 254$ mm.

Il parametro CN è un numero adimensionale che varia da 100, per corpi idrici, a circa 30, per suoli permeabili con elevati tassi di infiltrazione, che dipende, innanzitutto, dalle caratteristiche idrologiche del suolo (struttura, tessitura e permeabilità).

Per identificare il tipo idrologico di suolo bisogna analizzare le caratteristiche geopedologiche del bacino. L'SCS ha classificato il suolo in quattro gruppi:

- Gruppo A: suoli aventi scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla, ghiaie profonde molto permeabili. Capacità di infiltrazione molto elevata.
- Gruppo B: suoli aventi moderata potenzialità di deflusso. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A e con maggiore aliquota di argilla e limo. Elevate capacità di infiltrazione anche in condizioni di saturazione.
- Gruppo C: suoli aventi potenzialità di deflusso moderatamente alta. Suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidi. Scarsa capacità di infiltrazione.
- Gruppo D: suoli con potenzialità di deflusso molto elevata. Argille con elevata capacità di rigonfiamento, suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie. Scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.

Una volta individuato il tipo idrologico di suolo, per determinare il CN occorre analizzare la tipologia di uso del suolo stesso.

Nelle tabelle seguenti si riportano i valori caratteristici del parametro CN, che si ottengono per combinazione delle caratteristiche idrologiche del suolo, secondo i 4 tipi idrologici A-B-C-D a permeabilità decrescente, e delle caratteristiche di uso prevalente del suolo stesso.

Per quanto riguarda l'influenza dello stato di imbibimento del suolo all'inizio dell'evento meteorico, l'SCS individua tre classi caratterizzate da differenti condizioni iniziali (*AMC*, *Antecedent Moisture Condition*) a seconda del valore assunto dall'altezza di pioggia caduta nei cinque giorni precedenti l'evento meteorico:

AMC I: potenziale di scorrimento superficiale minimo. Suolo asciutto.

AMC II: potenziale di scorrimento medio. Suolo mediamente umido.

AMC III: potenziale di scorrimento massimo. Suolo saturo.

La categoria a cui fare riferimento si può individuare in base alla precipitazione totale dei 5 giorni precedenti quello dell'evento meteorico ed in base alla stagione, vegetativa o non vegetativa.

I valori di CN ricavati dalla Tabella A.1-2 si riferiscono a condizioni di saturazione del terreno medie (*AMC II*). E' comunque possibile ricondursi al valore del CNII tramite la seguente relazione:

$$CN(III) = \frac{23 \cdot CN(II)}{10 + 0.13 \cdot CN(II)}$$

I parametri richiesti dal modello distribuito SCS Curve Number sono un valore dell'indice CN per ogni interbacino in cui è stato discretizzato il bacino, e le condizioni iniziali, ovvero le perdite iniziali

 Terna Rete Italia T E R N A G R O U P	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910	Codifica Elaborato <Fornitore>: 	Rev. < 00 >

esprese come rapporto con la ritenzione potenziale (I_a/S , *initial abstraction ratio*, in genere posto pari a 0.2), da specificare per ogni sottobacino.

TIPO DI COPERTURA			TIPO DI SUOLO			
Uso del suolo	Trattamento o pratica	Condizione idrologica	A	B	C	D
Maggesi	a solchi diritti	-	77	86	91	94
Colture a solchi	a solchi diritti	cattiva	72	81	88	91
	a solchi diritti	buona	67	78	85	89
	a reggipoggio	cattiva	70	79	84	88
	a reggipoggio	buona	65	75	82	86
	a re. e terrazze	cattiva	66	74	80	82
	a re. e terrazze	buona	62	71	78	81
Grani piccoli	a solchi diritti	cattiva	65	76	84	88
	a solchi diritti	buona	63	75	83	87
	a reggipoggio	cattiva	63	74	82	85
	a reggipoggio	buona	61	73	81	84
	a re. e terrazze	cattiva	61	72	79	82
	a re. e terrazze	buona	59	70	78	81
Legumi seminati folti o prati in rotazione	a solchi diritti	cattiva	66	77	85	89
	a solchi diritti	buona	58	72	81	85
	a reggipoggio	cattiva	64	75	83	85
	a reggipoggio	buona	55	69	78	83
	a re. e terrazze	cattiva	63	73	80	83
	a re. e terrazze	buona	51	67	76	80
Pascoli	-	cattiva	68	79	86	89
	-	discreta	49	69	79	84
	-	buona	39	61	74	80
	a reggipoggio	cattiva	47	67	81	88
	a reggipoggio	discreta	25	59	75	83
	a reggipoggio	buona	6	35	70	79
Prati	-	buona	30	58	71	78
Boschi	-	cattiva	45	66	77	83
	-	discreta	36	60	73	79
	-	buona	25	55	70	77
Aziende agricole	-	-	59	74	82	86
Strade sterrate	-	-	72	82	87	89
Strade pavimentate	-	-	74	84	90	92

 Terna Rete Italia T E R N A G R O U P	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910	Codifica Elaborato <Fornitore>: 	Rev. < 00 >

TIPO DI COPERTURA		TIPO DI SUOLO			
		A	B	C	D
Aree residenziali					
Area media dei lotti:	Area impermeabile (%)				
1/8 acro o meno	65	77	85	90	92
1/4 acro	38	61	75	83	87
1/3 acro	30	57	72	81	86
1/2 acro	25	54	70	80	85
1 acro	20	51	68	79	84
Parcheggi pavimentati, tetti, viali d'accesso		98	98	98	98
Strade urbane ed extraurbane					
Pavimentate, a dorso di mulo e con fognatura		98	98	98	98
in ghiaia		76	85	89	91
sterrate		72	82	87	89
Aree commerciali e professionali (impermeabili per l'85%)		89	92	94	95
Distretti industriali (impermeabili per il 72%)		81	88	91	93
Spazi aperti, prati, parchi, campi da golf, cimiteri					
in buone condizioni: copertura erbosa sul 75% o più		39	61	74	80
in discrete condizioni: copertura erbosa sul 50-75%		49	69	79	84

Valori del parametro CN per diverse combinazioni di suolo e copertura (SCS,1986)

A.5. IDROGRAMMA UNITARIO ADIMENSIONALE SCS

L'idrogramma SCS è un idrogramma adimensionale definito dal SCS in base all'analisi di idrogrammi di piena in uscita dalla sezione di chiusura di numerosi bacini idrografici strumentati, di dimensioni grandi e piccole. Esso ha un vasto campo di applicazioni pratiche nel campo delle trasformazioni afflussi deflussi per la sua semplicità d'uso e per la sua generalità. Questo IUH presenta il 37.5% del suo volume prima dell'istante di picco; inoltre, i valori della portata di picco e dell'istante T_p sono stati ricavati adottando un modello semplificato di idrogramma triangolare di base $2.67 T_p$ (). Per la definizione dell'idrogramma unitario adimensionale del SCS è necessario specificare il tempo di ritardo T_I del bacino idrografico, che può essere valutato separatamente mediante relazioni empiriche valide per l'area in esame oppure, in assenza di esse, a partire dal tempo di corrivazione secondo la relazione:

$$T_I = \frac{3}{5} T_c$$

Il parametro rappresenta il tempo di risposta medio del bacino definito come lo sfasamento tra il centroide dello ietogramma di pioggia effettiva e quello dell'idrogramma di deflusso diretto.

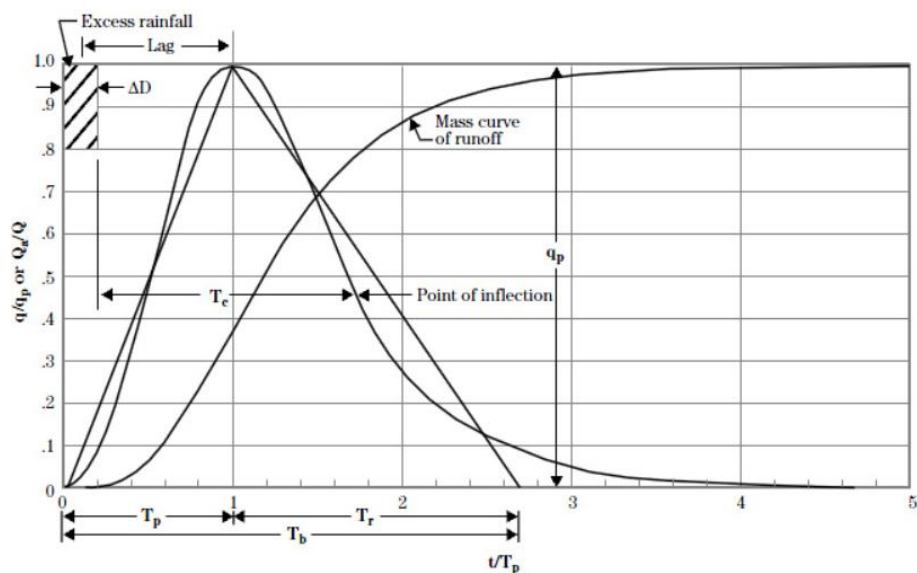


Figura 20: Idrogramma unitario del Soil Conservation Service (IUH-SCS)

 T E R N A G R O U P	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910	Codifica Elaborato <Fornitore>: 	Rev. < 00 >

Appendice C - Modellistica idraulica - fondamenti teorici

MODELLISTICA MONODIMENSIONALE MIKE 11

MIKE 1D è un software in grado di simulare il flusso monodimensionale, stazionario e non, di fluidi verticalmente omogenei in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali. Sviluppato a partire dagli anni '70 dal DHI (Danish Hydraulic Institute), rappresenta lo stato dell'arte nella modellistica matematica in ambito fluviale e riferimento nell'ambito della modellistica idrodinamica monodimensionale.

Caratteristiche del codice sono la velocità di calcolo e l'efficienza del robusto motore di simulazione idrodinamica (risolve le equazioni complete del De St. Venant), la struttura logica e sequenziale per l'inserimento e gestione dei dati di input (geometrie, serie storiche ecc.) ed i molteplici strumenti di interpretazione e visualizzazione dei risultati, in grado di garantire un'ottima rappresentazione degli studi condotti (rappresentazione di sezioni, profili, piani quotati, anche in ambiente GIS).

Modulo Idrodinamico (HD)

Il modulo idrodinamico HD rappresenta il cuore del codice di calcolo MIKE 1D ed è in grado di simulare il flusso idrico monodimensionale, stazionario e non, di fluidi verticalmente omogenei in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali. Attraverso l'utilizzo di HD è possibile simulare:

- portate laterali;
- condizioni di corrente veloce o lenta;
- flusso libero o rigurgitato in corrispondenza di sfioratori;
- differenti regole operative di funzionamento di serbatoi o invasi;
- resistenze localizzate e perdite di carico concentrate;
- casse d'espansione;
- condizioni di flusso quasi - bidimensionale sulle pianure alluvionali;
- azione del vento;
- nodi idraulici (biforcazioni e confluenze).

L'adozione del programma di simulazione MIKE 11 consente la soluzione del problema idrodinamico di moto vario con uno schema di soluzione numerica molto efficiente, che limita i tempi di calcolo consentendo una adeguata rappresentazione dell'evolversi temporale dei transitori idraulici legati al passaggio dell'onda di piena.

Descrizione delle Condizioni di Moto Simulate

Il modello consente di attivare tre diverse descrizioni del moto, mediante tre differenti formulazioni matematiche:

- Approccio dell'"onda cinematica". Le condizioni di moto sono calcolate imponendo il bilancio tra le forze di gravità e di attrito. Questa semplificazione non permette di simulare gli effetti di rigurgito.
- Approccio dell'"onda diffusiva". Oltre alle forze di gravità ed attrito viene tenuto conto del gradiente idrostatico in modo tale da poter valutare anche gli effetti a monte delle condizioni al contorno di valle e quindi simulare i fenomeni di rigurgito.
- Approccio dell'"onda dinamica". Utilizzando le equazioni complete del moto, comprese le forze di accelerazione, è possibile simulare con questa formulazione transitori veloci, flussi

 Terna Rete Italia T E R N A G R O U P	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910	Codifica Elaborato <Fornitore>: Rev. < 00 >	

di marea ecc.

In funzione del tipo di problema da risolvere è possibile scegliere la descrizione del moto più appropriata. Ognuna delle tre formulazioni consente di simulare sia sistemi idrici ramificati che reti idrauliche con maglie chiuse.

Equazioni generali di De Saint Venant

MIKE 11, risolve le equazioni di conservazione del volume e della quantità di moto (equazioni di De Saint Venant) che sono derivate sulla base delle seguenti assunzioni:

- il fluido (acqua) è incomprimibile ed omogeneo, cioè senza significativa variazione di densità;
- la pendenza del fondo è piccola;
- le lunghezze d'onda sono grandi se paragonate all'altezza d'acqua, in modo da poter considerare in ogni punto parallela al fondo la direzione della corrente: è cioè trascurabile la componente verticale dell'accelerazione e su ogni sezione trasversale alla corrente si può assumere una variazione idrostatica della pressione.

Integrando le equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto si ottiene:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} = 0$$

ed introducendo la resistenza idraulica (attrito) e le portate laterali addotte:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQQ}{C^2 AR} = 0$$

dove:

A = area della sezione bagnata (m²);

C = coefficiente di attrito di Chezy (m^{1/2} s⁻¹);

g = accelerazione di gravità (m s⁻²);

h = altezza del pelo libero rispetto ad un livello di riferimento orizzontale (m);

Q = portata (m³/s);

R = raggio idraulico (m);

α = coefficiente di distribuzione della quantità di moto;

q = portata laterale addotta (m² s⁻¹).

Simulazione delle correnti veloci con l'approccio dell'onda dinamica

 T E R N A G R O U P	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910 Rev. 00	Codifica Elaborato <Fornitore>: Rev. < 00 >	

Per le correnti veloci viene applicata una equazione "ridotta" del moto, ottenuta trascurando il termine non lineare:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQQQ}{C^2AR} = 0$$

La descrizione del moto è tanto più accurata quanto meno rapidamente variabile è la velocità della corrente.

Il vantaggio di questa schematizzazione è rappresentato dal fatto che è possibile ottenere una soluzione stabile con la stessa metodologia usata per le correnti lente. Nella transizione tra corrente lenta e veloce viene applicata una riduzione graduale del termine non lineare.

Approssimazione dell'onda diffusiva

L'approssimazione dell' "onda diffusiva" consiste nel trascurare, nelle equazioni generali di De Saint Venant, tutti i termini legati alla quantità di moto:

$$gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQQQ}{C^2AR} = 0$$

Questa formulazione assicura ancora la descrizione dell'effetto di rigurgito attraverso il termine $\partial h / \partial x$. Per ragioni di stabilità questo termine viene smorzato; ciò significa che vengono risolti soltanto fenomeni di rigurgito relativamente stazionari (confrontati con lo step di tempo utilizzato).

Descrizione in corrispondenza di strutture

Dal punto di vista matematico la descrizione della corrente attraverso stramazzi o soglie e sezioni trasversali strette è abbastanza simile. Sono diversi i tipi di strutture che possono essere simulate:

Tipo 1. Stramazzo a soglia larga

Il programma automaticamente determina le caratteristiche di funzionamento standard dello stramazzo sulla base della geometria e dei coefficienti di perdita di carico specificati dall'utente. Viene assunta una distribuzione idrostatica delle pressioni sulla soglia e vengono utilizzati diversi algoritmi per la simulazione del deflusso libero e di quello rigurgitato.

Tipo 2. Relazione Q-h

Nel caso in cui le condizioni standard di funzionamento (tipo 1) dello stramazzo non risultino adeguate (ad esempio quando è evidente una significativa curvatura delle linee di corrente) è possibile specificare le relazioni Q-h (portate-livelli) valide per la data struttura. La relazione Q-h viene utilizzata per il deflusso libero in condizioni critiche, mentre per il deflusso rigurgitato (o sommerso) vengono utilizzati gli stessi algoritmi della struttura "tipo 1".

Tipo 3. Tombino

Un tombino può essere descritto mediante diversi algoritmi validi per condizioni di deflusso critico, rigurgitato o a "tubo pieno". Il funzionamento a "tubo pieno" è a sua volta suddiviso in deflusso libero a valle, flusso rigurgitato e flusso sommerso: il codice calcola in automatico una relazione Q-h che contempla tutti i casi di deflusso critico allo sbocco del tombino. La portata critica è determinata da

 T E R N A G R O U P	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910 Rev. 00	Codifica Elaborato <Fornitore>: Rev. < 00 >	

una formulazione di stramazzo a larga soglia quando l'imbocco è libero e da una formulazione di luce sotto battente quando l'imbocco è sommerso.

Tipo 4. Relazione Q-t

E' possibile inserire una qualsiasi relazione Q-t esterna per descrivere ad esempio il deflusso da una diga o un pompaggio. Questa relazione sostituisce localmente l'equazione di conservazione della quantità di moto.

Tipo 5. Relazione $Q = A(Zj1) \cdot Zj2$

Il deflusso nell'ambito di una struttura può essere posto in relazione, in modo dinamico, a due qualsiasi variabili indipendenti del sistema consentendo di simulare regole operative particolari. Il deflusso da un invaso può per esempio essere correlato alla portata in ingresso e al livello nell'invaso (o al livello a valle di esso).

Tipo 6. Strutture mobili

E' possibile simulare la presenza di strutture mobili con condizioni di deflusso di tipo sfioro o luce sotto battente. Viene assegnata la geometria fissa della struttura (larghezza, quota del fondo per sistemi a sfioro tipo ventola, quota del livello massimo della paratoia per sistemi con luce sotto battente) ed una regola operativa che determina la quota della parte mobile della struttura in funzione di una delle seguenti condizioni idrodinamiche calcolate dal modello: un livello, una differenza di livelli, una portata, una differenza di portate, il tempo. Il modulo simula dinamicamente la variazione della geometria della struttura ed il flusso che ne consegue.

Tipo 7. Ponti

In MIKE 11 possono essere utilizzate diverse formulazioni da letteratura per il calcolo del deflusso attraverso i ponti e del conseguente effetto di rigurgito. In particolare, sono implementati i modelli della FHWA (Federal Highway Administration USA, WSPRO method) e della USBPR (US Bureau of Public Roads), modelli per la simulazione della presenza delle pile (Nagler e Yarnell), modelli per il libero deflusso attraverso ponti ad arco (Biery & Delour, HR method). Tutti i precedenti metodi di calcolo possono essere integrati con il calcolo del moto in pressione e con il calcolo del sormonto della struttura (tombini e stramazzi).

Resistenza d'attrito

MIKE 11 consente di utilizzare due diverse formulazioni della resistenza d'attrito: l'espressione di Chezy e quella di Strickler. Secondo la formula di Chezy, nell'equazione del moto il termine di resistenza risulta pari a:

$$\tau_r = \frac{g Q Q}{C^2 A R}$$

dove C è il coefficiente di attrito di Chezy.

Secondo la formula di Strickler, lo stesso termine diventa:

$$\tau_r = \frac{g Q Q}{M^2 A R^{4/3}}$$

dove M è il coefficiente di Strickler, pari a $1/n$, essendo n il coefficiente di Manning.

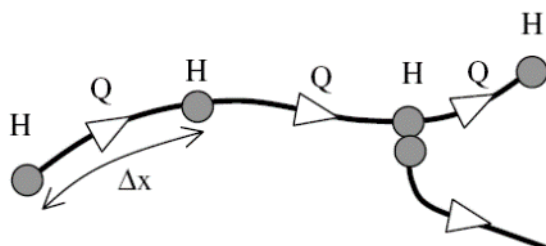
 T E R N A G R O U P	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910 Rev. 00	Codifica Elaborato <Fornitore>: Rev. < 00 >	

Condizioni Iniziali

Le condizioni iniziali possono essere specificate dall'utente oppure essere calcolate automaticamente. Nel secondo caso viene usata la formula di Chezy per determinare i livelli idrici e le portate da considerare all'inizio della simulazione su tutta la rete o schema idraulico. In alternativa a queste due opzioni è possibile anche assumere come condizioni iniziali i risultati di una precedente simulazione effettuata sullo stesso schema idraulico.

Metodo di Soluzione

La soluzione del sistema di equazioni è indipendente dall'approccio modellistico seguito (cinematico, diffusivo, dinamico). Le equazioni generali di De Saint Venant sono trasformate in un sistema di equazioni implicite alle differenze finite secondo una griglia di calcolo con punti Q e h alternati tra loro, nei quali la portata Q e il livello idrico h, rispettivamente, sono determinati ad ogni passo temporale (schema di Abbott a 6 punti).



La griglia di calcolo viene generata dal modello in base alle richieste dell'utente:

- i punti Q sono posizionati sempre a metà tra due punti h vicini;
- la distanza tra due punti h può essere variabile;
- ad ogni sezione trasversale d'alveo viene assegnato un punto h;
- ad ogni struttura viene assegnato un punto Q.

Condizioni al Contorno

In MIKE 1D le condizioni al contorno sono distinte in esterne ed interne. Le condizioni al contorno interne sono: legami tra punti nodali, strutture, portate interne. Le condizioni al contorno esterne sono: valori costanti di h e Q, valori di h e Q variabili nel tempo, relazioni tra h e Q (ad es. scala di deflusso per una sezione d'alveo).

MODELLISTICA BIDIMENSIONALE MIKE 21

Il MIKE 21 è un programma modulare contenente diversi codici per la simulazione di corpi idrici per i quali sia possibile adottare l'approssimazione idrodinamica bidimensionale, piana, per fluidi verticalmente omogenei. Il numero "21" che contraddistingue il codice indica proprio la bidimensionalità nel piano ("2") e la monodimensionalità lungo la verticale ("1").

Il sistema modellistico è stato sviluppato per la simulazione delle correnti a pelo libero e dei fenomeni correlati all'idraulica in fiumi, laghi o invasi, così come in ambito costiero e offshore. I principali campi di applicazione sono:

 Terna Rete Italia T E R N A G R O U P	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910	Codifica Elaborato <Fornitore>: 	Rev. < 00 >

- modellazione idrodinamica del trasporto solido e della qualità delle acque in fiumi;
- laghi ed aree golenali;
- studio del moto ondoso in aree costiere, bacini portuali ed offshore;
- analisi idrodinamica del trasporto solido e morfologica in aree costiere;
- analisi della qualità delle acque al largo e sottocosta;
- supporto alla pianificazione e progettazione di opere costiere ed offshore;
- supporto alla pianificazione e progettazione di opere di difesa fluviale;
- supporto all'ottimizzazione di layout portuali;
- analisi impatto ambientale;
- previsione degli stati di mare a supporto della navigazione;
- analisi di allagamenti in aree costiere e fenomeni di storm surge.

Il pacchetto MIKE 21 è disponibile in 4 versioni che si differenziano in base alla schematizzazione geometrica adottata.

- CLASSIC GRID (Griglia classica singola): le equazioni di continuità e del moto sono risolte con una tecnica implicita alle differenze finite su una griglia rettangolare, uniforme in tutto il dominio di calcolo;
- MULTIPLE GRID (Griglia multipla): questo schema utilizza lo stesso approccio della griglia singola, con la possibilità di innestare nel dominio griglie a risoluzione crescente nelle aree ove sia richiesto un maggiore dettaglio;
- FLEXIBLE MESH (Griglia flessibile): questo schema utilizza un metodo ai volumi finiti per la discretizzazione delle equazioni di flusso e trasporto con valori centrati sul singolo elemento. Il dominio di calcolo è discretizzato nelle dimensioni orizzontali attraverso una maglia non strutturata. La griglia non strutturata garantisce il massimo della flessibilità nella rappresentazione di geometrie complesse, in particolare per domini di calcolo estesi in cui sia necessario adottare una risoluzione spaziale variabile;
- CURVILINEAR (Griglia curvilinea): è la griglia adottata da MIKE 21C, codice di calcolo studiato appositamente per applicazioni di morfologia fluviale.

In campo fluviale MIKE 21 può essere utilizzato in modo integrato con altri codici di calcolo del DHI, in particolare:

- MIKE 11, grazie al modulo MIKE FLOOD, che consente di condurre simulazioni idrodinamiche accoppiando gli approcci 1d e 2d in modo totalmente integrato;

Il modulo idrodinamico (HD), cuore del codice MIKE 21, simula le variazioni di livello e corrente in risposta alle differenti tipologie di forzanti considerate, potendo essere utilizzato da solo o come base per i calcoli effettuati dagli altri moduli disponibili. In particolare, il modulo HD di MIKE 21 permette di tenere in considerazione i seguenti fenomeni:

- flooding and drying;
- perdite di carico;
- attrito al fondo;
- forza di Coriolis;
- effetto del vento;
- gradienti di pressione barometrica;
- coperture di ghiaccio;
- effetto delle maree;
- precipitazioni/Evaporazioni;
- radiation stresses;
- pozzi e sorgenti.

 TERNA GROUP	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910	Codifica Elaborato <Fornitore>: Rev. 00	Rev. < 00 >

Per quanto riguarda le analisi dei fenomeni di esondazione, MIKE 21 può essere accoppiato in modo dinamico attraverso l'interfaccia MIKE FLOOD al codice monodimensionale MIKE 11, per la simulazione degli alvei e dei canali, ed al codice MIKE URBAN, per la simulazione delle reti di drenaggio e collettamento urbano, schematizzando il dominio di calcolo in modo integrato 1D/2D.

Il modulo idrodinamico HD del Mike 21 risolve le equazioni complete del moto di De St.Venant in un caso bidimensionale piano (la terza dimensione - asse z - è implicitamente integrata nelle equazioni considerando un mezzo verticalmente omogeneo), non stazionario. Il sistema delle equazioni di De St.Venant è costituito dalle seguenti equazioni.

Equazione di conservazione della massa:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = 0$$

Equazione di conservazione della quantità di moto lungo x:

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{C^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega q - fV V_x \\ + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} p_a + \frac{1}{\rho_w} \left(\frac{\partial \mathcal{S}_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \mathcal{S}_{xy}}{\partial y} \right) = 0 \end{aligned}$$

Equazione di conservazione della quantità di moto lungo y:

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gq\sqrt{p^2+q^2}}{C^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega p - fV V_y \\ + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial y} p_a + \frac{1}{\rho_w} \left(\frac{\partial \mathcal{S}_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \mathcal{S}_{xy}}{\partial x} \right) = 0 \end{aligned}$$

nelle quali $h(x,y,t)$ è la profondità dell'acqua, $\zeta(x,y,t)$ è la quota del pelo libero, p , $q(x,y,t)$ sono le portate unitarie nelle direzioni x e y ; $C(x,y)$ è il coefficiente di scabrezza di Chezy, g l'accelerazione di gravità, $f(V)$ il fattore d'attrito del vento, V , V_x , $V_y(x,y,t)$ le velocità del vento e componenti lungo le direzioni x e y , $\Omega(x,y)$ il parametro di Coriolis, $p_a(x,y,t)$ la pressione atmosferica, ρ_w la densità dell'acqua, τ_{xx} , τ_{xy} , τ_{yy} le componenti degli sforzi tangenziali che tengono conto della turbolenza e del profilo verticale delle velocità, S_{xx} , S_{xy} , S_{yy} le componenti del "radiation stress" (nel caso la forzante idrodinamica derivi dall'interazione tra il moto ondoso ed il fondo).

Il termine di turbolenza è rappresentato dagli sforzi tangenziali τ che compaiono nelle equazioni di conservazione della quantità di moto lungo le direzioni x e y . La formulazione utilizzata prende in considerazione il parametro E "eddy viscosity" che è implementato secondo due modalità:

1. dipendente dal flusso locale:

 TERNA GROUP	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910	Codifica Elaborato <Fornitore>: Rev. 00	Rev. < 00 >

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(E \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(E \frac{\partial p}{\partial y} \right) \quad (\text{nella direzione } x);$$

2. oppure dipendente dalla velocità locale:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(hE \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(hE \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad (\text{nella direzione } x);$$

Le due equazioni rappresentano il termine di sforzo tangenziale nelle equazioni di conservazione della quantità di moto. Il coefficiente E può essere specificato come costante su tutta la griglia, variabile da punto a punto, o come funzione del campo di velocità locale secondo la formulazione di Smagorinski:

$$E = c_s^2 \Delta^2 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right]$$

nella quale u e v sono le componenti della velocità locale, Δ è la dimensione spaziale della griglia e c_s è una costante compresa tra 0,25 e 1.

In questo caso il termine di sforzo di taglio nelle equazioni di conservazione della quantità di moto (asse x) è dato da:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(hE \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{2} hE \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right)$$

La portata entrante nell'area di calcolo viene assegnata come portata unitaria ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$) lungo la frontiera libera dalla quale entra il flusso: viene assegnata al modello la portata complessiva (m^3/s) che viene poi ripartita automaticamente sui punti di calcolo della griglia.

La condizione iniziale è rappresentata da una situazione di "quiete", nel senso che tutte le componenti delle forzanti sono nulle (portate, velocità, livelli) e variano poi linearmente nel tempo fino a raggiungere il valore assegnato in un tempo prefissato. Questa tecnica, detta del "soft start" consente di eliminare eventuali brusche oscillazioni iniziali della soluzione che potrebbero presentarsi per problemi di stabilità numerica. Al termine del "soft start" la situazione ottenuta è di effettiva stazionarietà.

Il modello MIKE 21 HD necessita di una serie di dati di input che si possono raggruppare in differenti categorie, ovvero:

- parametri temporali e del dominio (risoluzione della griglia di calcolo, time step, durata simulazione);
- fattori di calibrazione (bed resistance, viscosità turbolenta);
- condizioni iniziali (livelli e campi di corrente);
- condizioni al contorno (livelli, portate);
- altre forzanti (campi di vento, radiation stresses, sorgenti o pozzi).

 T E R N A G R O U P	RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA S/E SUVERETO	
Codifica Elaborato Terna: DGDR10012B2014910	Rev. 00	Codifica Elaborato <Fornitore>: Rev. < 00 >

I risultati di un'applicazione modellistica bidimensionale possono essere rappresentati con i molteplici strumenti di visualizzazione statica e dinamica a corredo dello strumento modellistico utilizzato. Gli strumenti di post processing consentono di creare animazione 2D da esportare ed utilizzare in ambiente di lavoro esterno alla piattaforma modellistica utilizzata per il calcolo numerico.

L'utilizzo di un approccio di tipo bidimensionale permette di indagare non solo l'intensità del fenomeno ma anche direzione e verso del vettore velocità in ogni cella della matrice. Ad esempio, per ognuno degli elementi della griglia, sono rappresentati le variazioni temporali delle seguenti variabili (si veda la):

- profondità e livelli idrici;
- flussi di corrente nelle direzioni principali;
- velocità di corrente e direzione.

MODELLISTICA MIKE FLOOD

MIKE FLOOD permette l'accoppiamento tra modello monodimensionale in alveo e bidimensionale nelle aree contermini.

L'accoppiamento dei modelli è dinamico:

- i modelli "girano" simultaneamente;
- ad ogni istante di simulazione avviene uno scambio di dati;
- la mutua interazione è bidirezionale.

L'integrazione tra i diversi modelli avviene in modo totalmente dinamico, garantendo quindi la conservazione di massa e quantità di moto tra i diversi sistemi ed è impostata attraverso un'interfaccia grafica comune.

L'accoppiamento tra mono e bidimensionale può avvenire in maniera puntuale, oppure in maniera distribuita.

Il corso d'acqua viene simulato attraverso sezioni fluviali. Le acque esondate e la loro propagazione viene effettuata con un modello bidimensionale.

I risultati sono espressi in battenti, livelli, flussi e velocità nelle aree allagate.