

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



PROGETTO DEFINITIVO

NODO DI NOVARA
1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO

LOTTO 10 – 1^ FASE FUNZIONALE
IDROLOGIA E IDRAULICA

RELAZIONE IDROLOGICA

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA Progr. REV.

N M 0 Y 0 0 D 1 1 R H I D 0 0 0 1 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	A.Ingletti	Maggio 2021	M.Milovanovic	Maggio 2021	F.Perrone	Maggio 2021	D.Maranzano Maggio 2021




File: NM0Y00D11RHID0001001A.DOCX

n. Elab.:

INDICE

1	PREMESSA	3
2	RIFERIMENTI NORMATIVI	4
3	INQUADRAMENTO TERRITORIALE E LEGISLATIVO	5
3.1	BACINO IDROGRAFICO DEL TERDOPPIO	7
3.2	BACINO IDROGRAFICO AGOGNA	8
3.3	CONSORZIO DI IRRIGAZIONE EST SESIA	9
3.3.1	CANALE CAVOUR	10
4	ANALISI IDROLOGICA	13
4.1	CURVE DI POSSIBILITA' PLUVIOMETRICA - PAI	13
4.2	CURVE DI POSSIBILITA' PLUVIOMETRICA - VAPI	18
4.3	RAFFRONTO CPP PAI – PROGETTO VAPI	22
4.4	CURVE DI POSSIBILITA' PLUVIOMETRICA – PIOGGE BREVI	23
5	CONCLUSIONI	27

	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO LOTTO 10 – 1^ FASE FUNZIONALE IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA NM0Y	LOTTO 00	CODIFICA D 11 RH	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

1 PREMESSA


La presente relazione ha come obiettivo la caratterizzazione idrologica dell'area di studio con riferimento ai fenomeni meteorici intensi che interessano il comune di Novara.

Lo studio idrologico è finalizzato alla determinazione delle curve di possibilità pluviometrica di assegnato tempo di ritorno che verranno assunte nelle verifiche idrauliche. In tale ambito, l'analisi in esame si articola nella individuazione dei parametri sintetici necessari alla determinazione degli eventi meteorici estremi, ponendo particolare attenzione alla casistica caratterizzante le piogge con durata complessiva inferiore all'ora (scrosci).

Il documento si articola secondo i seguenti capitoli:

- Capitolo 2 – Riferimenti Normativi e di Letteratura;
- Capitolo 3 – Caratterizzazione territoriale con descrizione dei corsi d'acqua principali e canali di bonifica;
- Capitolo 4 – Analisi idrologica finalizzata alla determinazione delle Curve di Possibilità Pluviometrica secondo le indicazioni contenute all'interno del PAI (Piano Assetto Idrogeologico) ovvero mediante metodo VA.PI (Valutazione Piene) – approccio comparativo.

Le curve di probabilità pluviometrica sono state stimate per periodi di ritorno pari a 20, 25, 100, 200 e 300 anni.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO LOTTO 10 – 1^ FASE FUNZIONALE IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA NM0Y	LOTTO 00	CODIFICA D 11 RH	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

2 RIFERIMENTI NORMATIVI

Il progetto è stato redatto nel rispetto delle seguenti norme:

- *R.D. 25/07/1904, N. 523 "Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie";*
- *R.D. 11 dicembre 1933, n. 1775 - Testo unico delle disposizioni di legge sulle acque e impianti elettrici;*
- *D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152e ss.mm.ii. Norme in materia ambientale;*
- *Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE;*
- *Direttiva Alluvioni 2007/60/CE;*
- *Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17 gennaio 2018);*
- *"Manuale di Progettazione delle Opere Civili" della Rete Ferroviaria Italiana (RFI) aggiornato;*
- *PAI - 7. Norme di Attuazione - Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica - Allegato 3 Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense. Parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni;*
- *PdG Po – Piano di Gestione del fiume Po approvato il 3/03/2016 (DPCM 27 ottobre 2016);*
- *Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto Idrografico Padano (P.G.R.A. 03/03/2016);*
- *Deliberazione della Giunta Regionale 28 luglio 2009, n. 2-11830 Indirizzi per l'attuazione del PAI: sostituzione degli allegati 1 e 3 della DGR. 45-6656 del 15 luglio 2003 con gli allegati A e B. Allegato B - Criteri tecnici per la valutazione della pericolosità e del rischio lungo il reticolo idrografico.*
- *Linee generali di assetto idrogeologico e quadro degli interventi nel bacino del Terdoppio dell'Autorità di Bacino del Fiume Po;*
- *"Piano comprensoriale di bonifica, di irrigazione e di tutela del territorio rurale" del Consorzio di irrigazione e bonifica Est Sesia.*

3 INQUADRAMENTO TERRITORIALE E LEGISLATIVO

L'insieme complessivo degli interventi in esame sono realizzati all'interno della porzione di territorio della città di Novara già attualmente a destinata ad attività di natura ferroviaria. Nel complesso la progettazione si sviluppa all'interno del tessuto urbanizzato della città di Novara che risulta interessata dalla presenza di due corsi d'acqua maggiori, a carattere torrentizio (Terdoppio e Agogna), e dalla rete bonifica che trae origine dal Canale Cavour e il Canale Quintino Sella.



Figura 3.1 - Localizzazione dell'area di intervento. A sinistra: inquadramento generale torrenti Terdoppio e Agogna; in alto a destra: Canale Cavour presso Vignale; in basso a destra: Canale Quintino Sella in attraversamento alla ferrovia.

L'analisi condotta nel presente studio deve considerare gli strumenti di pianificazione territoriale in vigore. In particolare, al fine di individuare eventuali criticità della rete idrografica in cui ricade l'intervento, devono essere consultati i piani di settore di riferimento della zona in esame. Gli strumenti legislativi analizzati sono:

- Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF, 1998);

- Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI, 2001);
- Piano di Gestione Rischio Alluvione (2016).

Le opere in progetto interessano il sottobacino idrografico del Terdoppio ricadente all'interno del bacino idrografico del fiume Po, pertanto le competenze in materia di pianificazione idraulica sono demandate all'Autorità di Bacino del fiume Po e al PAI in vigore. Come è inoltre possibile desumere dalle corografie allegate al presente studio, tutti gli interventi in esame risultano ubicate all'esterno delle fasce di esondazione di sinistra idraulica del fiume Agogna.

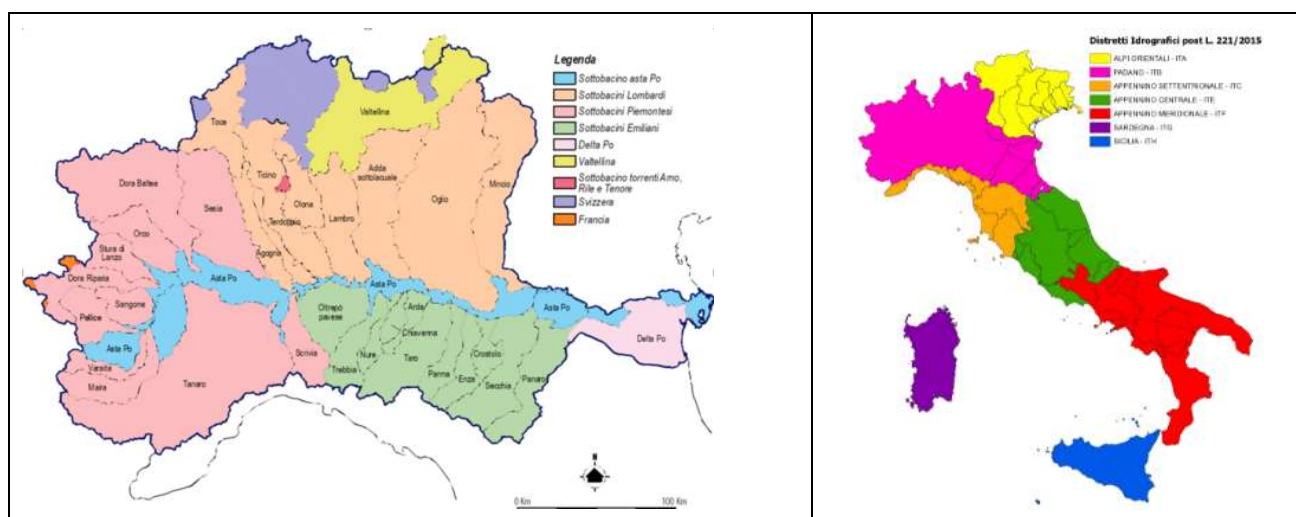


Figura 3.2 - Localizzazione dell'area di intervento. A sinistra: corografia idraulica degli affluenti del fiume Po. Torrenti Agogna e Terdoppio – Sottobacini Lombardi; A destra: distretti idrografici.

Con le disposizioni del Testo Unico in materia ambientale (Decreto legislativo n. 152/2006) l'intero territorio italiano è stato ripartito complessivamente in 8 distretti idrografici in ognuno dei quali è istituita l'Autorità di bacino distrettuale, definita giuridicamente come ente pubblico non economico.

Gli interventi in progetto ricadono nel bacino idrografico "Terdoppio" a sua volta individuato nell'area di giurisdizione del Distretto idrografico Padano. Nell'immagine a seguire i principali bacini idrografici gestiti, fino a febbraio 2017, dall'Autorità di Bacino del fiume Po (in rosso il bacino idrografico di interesse).

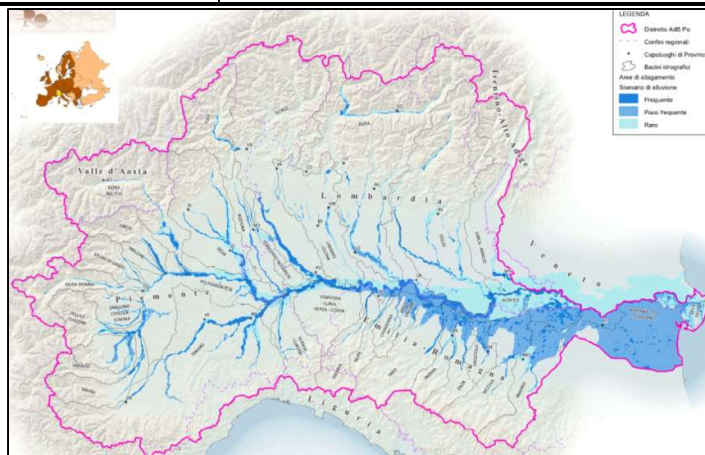


Figura 3.3 – Distretto idrografico Padano

3.1 BACINO IDROGRAFICO DEL TERDOPPIO


Il bacino del Terdoppio ha una superficie complessiva di circa 515 km² interamente in ambito di pianura; è suddiviso in due bacini parziali, il novarese e il lomellino di superficie circa uguale. Il torrente nasce dal gruppo delle Prealpi compreso tra il lago Maggiore e il lago d'Orta, scorre in direzione sud-est-sud e, dopo aver percorso il basso novarese, attraversa la provincia di Pavia, confluendo nel Po nel comune di Zinasco. Lo sviluppo complessivo del corso d'acqua, dalle sorgenti al Po, è di circa 86 km.

In realtà il corso del torrente Terdoppio si divide in due tratte distinte:

- il Terdoppio novarese che confluisce in Ticino a valle di Cerano;
- il Terdoppio lomellino che termina nel Po a valle di Zinasco.

La continuità del corso d'acqua è stata artificialmente interrotta in epoca medioevale per far luogo a derivazioni irrigue; pertanto il tratto terminale del Terdoppio novarese è attualmente costituito da uno scolmatore artificiale che recapita le acque in Ticino; mentre a sud il corso d'acqua prosegue fino al Po.

Il torrente Terdoppio da Divignano a Cerano alterna tratti sinuosi e meandriiformi a tratti sostanzialmente rettilinei; la struttura dell'alveo è monocursale. La sezione dell'alveo non ha subito variazioni significative di larghezza e a tratti si è riscontrato un modesto aumento della lunghezza. Fino a monte di Suno, sia in destra che in sinistra, il corso d'acqua scorre tra superfici terrazzate piuttosto rimodellate; da valle di Suno fino allo scolmatore in Ticino (roggia Cerano), solo localmente sono presenti scarpate di erosione fluviale alte pochi metri.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI NOVARA 1 ^A FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO LOTTO 10 – 1 ^A FASE FUNZIONALE IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA NM0Y	LOTTO 00	CODIFICA D 11 RH	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

Il regime pluviometrico si colloca tra il tipo sub-litoraneo alpino e il sub-litorale occidentale. Presenta due massimi e due minimi nell'anno medio, con il massimo primaverile equivalente o di poco superiore a quello autunnale e con minimo invernale inferiore a quello estivo. Le punte primaverili e autunnali hanno valori medi mensili dell'ordine dei 120 mm; i minimi estivi e invernali hanno valori medi rispettivamente dell'ordine dei 75 e dei 55 mm.

Da Suno a Cameri il grado di artificializzazione dell'alveo è modesto; infatti fino all'abitato di Castelletto di Momo si ha l'assenza pressoché totale di opere idrauliche di difesa; da Momo a Cameri si hanno arginature a carattere locali e di dimensioni contenute, generalmente a difesa di aree agricole o produttive; le opere di difesa spondale hanno carattere sporadico e sono localizzate principalmente in corrispondenza degli attraversamenti.

Da Cameri a Cerano il corso d'acqua, di modesta larghezza (15-25 m), è quasi interamente canalizzato; le arginature quasi continue, sono protette in molti punti con difese di sponda. Le opere di stabilizzazione del fondo hanno carattere sporadico. Complessivamente il grado di artificializzazione dell'alveo, a sezione trapezia quasi costante, risulta elevato.


Il grado di protezione dalle piene è da considerarsi insufficiente in relazione al grave stato di dissesto in cui versano alcuni tratti di arginatura e alla mancanza di difese in taluni tratti critici.

3.2 BACINO IDROGRAFICO AGOGNA

Il bacino dell'Agogna ha una superficie complessiva di 995 km² (1% del bacino del Po), di cui il 10% in ambito montano. Il corso d'acqua nasce dal gruppo delle Prealpi compreso tra il lago Maggiore e il lago d'Orta e scorre nella pianura novarese e lomellina compresa tra il Ticino e il Sesia.

Nel tratto montano il torrente Agogna scorre stretto tra i laghi Maggiore e d'Orta, in un paesaggio caratterizzato da forti pendenze. Costeggiato il lago d'Orta e oltrepassato l'abitato di Gozzano, il corso d'acqua attraversa la pianura novarese, toccando i centri di Borgomanero, Fontaneto d'Agogna, Cavaglio d'Agogna, Novara. Lascia quindi il territorio piemontese ed entra nella regione lombarda della Lomellina, confluendo nel Po, dopo Lomello, in prossimità di Balossa Bigli.

Sul piano strettamente geomorfologico, il bacino del torrente Agogna è suddivisibile in due aree. La prima a Nord, presenta come litologie affioranti termini metamorfici e ignei con discontinuità frequente (LDM, LDI) e depositi glaciali e fluvio-glaciali (DGL). Nella piana intorno a Gozzano si trovano litoidi in subordine come i termini massivi sedimentari (LMS) e le rocce tenere prevalentemente incoerenti (RTE). L'area di valle, a partire da Borgomanero fino alla confluenza in Po, è interessata da

	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO LOTTO 10 – 1^ FASE FUNZIONALE IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA NM0Y	LOTTO 00	CODIFICA D 11 RH	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

depositi derivanti dall'alterazione di rocce e terreni (DLG). I depositi alluvionali fluviali e lacustri sono presenti nella piana di Gozzano e fiancheggiano l'Agogna per tutto il tratto lombardo.

Il regime pluviometrico dell'Agogna si colloca tra il tipo sub-litoraneo alpino e il sub-litorale occidentale. Presenta due massimi e due minimi nell'anno medio, con il massimo primaverile equivalente o di poco superiore a quello autunnale e con minimo invernale inferiore a quello estivo. Le punte primaverili e autunnali hanno valori medi mensili dell'ordine dei 120 mm; i minimi estivi e invernali hanno valori medi mensili rispettivamente dell'ordine dei 75 mm e dei 55 mm. Il totale delle precipitazioni medie annue è di circa 1070 mm. Storicamente le piene di maggior rilievo si sono verificate durante le alluvioni del Polesine nel 1951 e del 1968.

3.3 CONSORZIO DI IRRIGAZIONE EST SESIA

L'Associazione d'Irrigazione Est Sesia è il maggiore Consorzio di Irrigazione italiano con oltre 25.000 consorzisti, al quale il Ministero dell'Agricoltura ha accordato di assumere, con separata gestione e con organi statutari speciali, le funzioni di "Consorzio di bonifica". Ai sensi della Legge della Regione Piemonte n. 21 del 9 agosto 1999 l'Est Sesia è, quindi, un Consorzio di irrigazione e bonifica.

L'Est Sesia costituisce un Consorzio interregionale poiché il suo comprensorio interseca più o meno equamente il confine piemontese e lombardo; la peculiarità del comprensorio dell'Est Sesia ed il suo carattere unitario e omogeneo sono stati esplicitamente riconosciuti dal Consiglio Regionale della Lombardia con deliberazione del 26 marzo 1986 n. IV/213.

L'irrigazione del Comprensorio e tutti gli usi plurimi della risorsa idrica (con cui si intendono il raffreddamento degli impianti, la produzione idroelettrica, ecc.) sono garantiti dalle acque provenienti dai principali corsi d'acqua piemontesi, tra i quali si annoverano il fiume Po, le cui acque sono convogliate nel comprensorio del Consorzio dal Canale Cavour (che ha origine a Chivasso (TO)), il fiume Dora Baltea; il fiume Sesia ed il fiume Ticino.

La rete irrigua è molto fitta, nella Figura 3.4 si riporta uno stralcio della carta dei corpi idrici dell'area di interesse.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Y	00	D 11 RH	ID0001 001	A	10 di 27

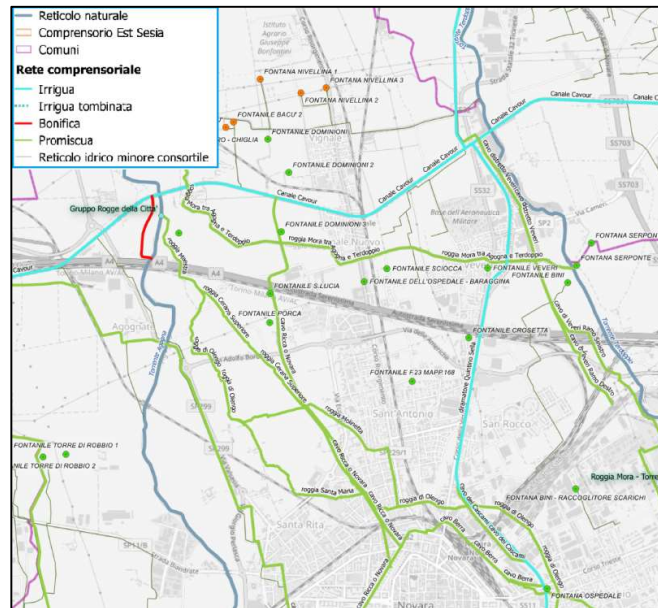


Figura 3.4 – Estratto tavola 2_parte 6 “Carta dei corpi idrici a fini irrigui” del Consorzio di Irrigazione Est Sesia

3.3.1 CANALE CAVOUR

Uno dei principali canali di adduzione del comprensorio è il Canale Cavour, che deriva le proprie acque dal fiume Po, nel comune di Chivasso (TO) e, dopo essere sussidiato a Saluggia (VC) dal Canale Farini, adduce nel comprensorio (a Recetto, tramite sifone sottopassante il fiume Sesia), portate massime, misurate alla stazione idrometrica di Ponte Ceruo, a monte del sopra citato sifone, dell'ordine dei 50 m³/s (la concessione di derivazione comprende le portate prelevabili dal Canale Cavour e dal Canale Sussidiario Farini, fino a un massimo di 110 m³/s le quali contribuiscono ad irrigare anche il comprensorio dell'Associazione d'Irrigazione Ovest Sesia).

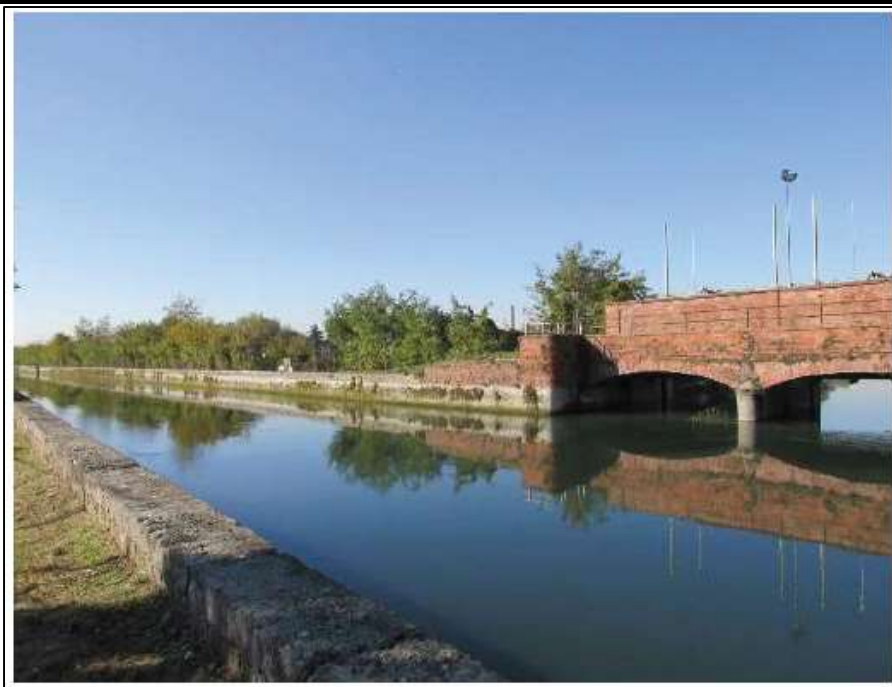


Figura 3.5 – Immissione del Canale Sussidiario Farini

L'asta principale del canale (esclusi gli scaricatori) presenta una lunghezza di 82 km, articolata in 37 rettilinei e 36 curve; la pendenza normale del canale è dello 0.25‰. Rispetto al terreno naturale, il canale corre in scavo per oltre 76 km e in rilevata per circa 6 km.

La sezione del canale ha una larghezza di fondo che all'inizio è di 40 m; tale misura si riduce a 20 m al km 8.5 e mantiene questa dimensione fino al km 62 circa (Roggia Busca) ove si riduce a 12,5 m, per scendere successivamente a 10 m (Terdoppio) e quindi a 7,5 m fino al ciglio della vallata del Ticino.

La portata massima è di 110 m³/s all'imbocco e 85 m³/s ad Est del Sesia.

I manufatti più importanti, anche al di fuori del sotto comprensorio come l'edificio di presa dal Po, sono costituiti dai ponti-canali per il sovrappasso della Dora Baltea, del Cervo, della Rovasenda e della Marchiazza e dalle tombe-sifoni per il sottopasso dell'Elvo, del Sesia, dell'Agogna e del Terdoppio, fino allo scarico in fiume Ticino.

Numerosissimi sono i manufatti secondari, comprendenti gli attraversamenti della rete irrigua e della rete stradale e ferroviaria.




Figura 3.6 – Sovrappasso del Canale Cavour da parte della linea ad Alta Velocità TO-MI

Il dato di portata relativo al regime idraulico del Canale Cavour in corrispondenza dell'attraversamento in progetto, comunicato con nota del 24/10/11 n° prot. 5552 dall'associazione idrica Est Sesia (Progetto Preliminare), è compreso tra i 30 ed 40 m³/s, raggiungendo picchi di portata pari a 60 m³/s.

<p>Sponde in terra e lastrini in cemento ammalorati Portata massima (con canale Regina Elena chiuso) 60.000 l/s Portata minima 35.000 l/s (15.000 portata jemale dir. Sella, il resto scarico in Ticino per centrale Dogana) Velocità acqua 0,6 m/s Presenza di alzaia</p>
--

Tabella 3.I – Caratteristiche idrauliche canale Cavour tra Agogna e Terdoppio

	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO LOTTO 10 – 1^ FASE FUNZIONALE IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA NM0Y	LOTTO 00	CODIFICA D 11 RH	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

4 ANALISI IDROLOGICA

L'analisi idrologica è finalizzata alla definizione dei parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica di assegnata probabilità di accadimento (sintetizzata nel parametro tempo di ritorno), indispensabili per il dimensionamento dei diversi manufatti idraulici in particolare per la valutazione dei tiranti idrici.

Lo studio idrologico deve fornire l'inquadramento generale dell'area di studio sulla base dei dati idroclimatici ufficiali (Servizio Idrografico), delle caratteristiche morfologiche e di copertura del suolo e di eventuali altri studi disponibili.


In generale è preferibile utilizzare analisi già esistenti purché siano valide e stabiliscano in modo autorevole i valori delle LSPP dell'area in esame. In caso contrario:

- Per bacini privi di strumentazione, potrebbe essere utilizzata una qualsiasi delle analisi di frequenza sulle portate di piena già esistenti purché siano valide e stabiliscano in modo autorevole i valori delle portate di piena nel corso d'acqua in esame;
- In assenza di un'analisi regionale ufficiale o qualora la stessa non risulti applicabile a causa di consistenti regolazioni dei deflussi o altre caratteristiche peculiari del bacino in esame, dovrà essere selezionata la metodologia più appropriata per la stima dei dati di portata necessari. Allo scopo potranno essere impiegati i metodi sviluppati da vari Autori o enti o modelli afflussi-deflussi, quali quelli basati sull'idrogramma unitario istantaneo (IUH).

Nei paragrafi che seguono si riporta il raffronto tra i risultati ottenuti dall'Autorità di Bacino del Fiume Po (Allegato 3 "Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense" delle Norme di attuazione del PAI) e i valori derivati mediante metodologia Va.Pi. (Valutazione Piene), selezionando per la progettazione le condizioni più cautelative.

4.1 CURVE DI POSSIBILITA' PLUVIOMETRICA - PAI

L'analisi idrologica è finalizzata alla definizione dei parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica di assegnata probabilità di accadimento (sintetizzata nel parametro tempo di ritorno), indispensabili per il dimensionamento dei diversi manufatti idraulici in particolare per la valutazione dei tiranti idrici.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO LOTTO 10 – 1^ FASE FUNZIONALE IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA NM0Y	LOTTO 00	CODIFICA D 11 RH	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

Il Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), all'art.10 delle Norme di attuazione, dispone:

“L’Autorità di bacino definisce, con propria direttiva:

- i valori delle portate di piena e delle precipitazioni intense da assumere come base di progetto e relativi metodi e procedure di valutazione per le diverse aree del bacino;

- i criteri e i metodi di calcolo dei profili di piena nei corsi d’acqua;

[...].”

La “Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica”, in attuazione dell’art. 10 delle Norme di attuazione del PAI dell’Autorità di bacino del Fiume Po, fornisce i valori delle precipitazioni intense nelle diverse aree del bacino e quelli delle portate di piena sui corsi d’acqua principali, interessati dalla delimitazione delle fasce fluviali (nell’ambito del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali - PSFF e del PAI) e, per gli stessi corsi d’acqua, il profilo della piena di progetto.

Ai fini di quanto richiesto dall’art. 10 delle Norme di attuazione del PAI, la direttiva è costituita dai seguenti punti:

- delimitazione dei sottobacini idrografici nella porzione collinare e montana del bacino del Po e degli ambiti idrografici di pianura;

- stima delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica puntuali nelle stazioni di misura delle precipitazioni;

- analisi della distribuzione spaziale delle precipitazioni intense;


- indicazioni per il calcolo delle portate di piena sui bacini idrografici di piccole dimensioni;

- stima delle portate di piena in sezioni significative dei corsi d’acqua interessati dalla delimitazione delle fasce fluviali;

-definizione del profilo di piena di progetto per i corsi d’acqua interessati dalla delimitazione delle fasce fluviali.

La “Direttiva” riporta inoltre:

I valori indicati costituiscono riferimento per le esigenze connesse a studi e progettazioni che, per dimensioni e importanza, non possano svolgere direttamente valutazioni idrologiche più approfondite a scala locale. Nelle parti del bacino ove

	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO LOTTO 10 – 1^ FASE FUNZIONALE IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA NM0Y	LOTTO 00	CODIFICA D 11 RH	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

sono disponibili, possono essere utilizzati, in alternativa, i risultati derivanti da studi di regionalizzazione, che siano stati predisposti a cura della Regione interessata.

La legge di dipendenza della media dei massimi di precipitazione con la durata può esprimersi, nel caso più semplice, come:

$$h = a \cdot t^n$$

in cui i parametri a e n dipendono dallo specifico tempo di ritorno considerato.

La stima delle curve di probabilità pluviometrica nelle stazioni di misura è stata effettuata dall'Autorità di Bacino sulla base delle serie storiche dei massimi annuali delle altezze di precipitazione per le durate considerate, definendo i parametri a ed n per i tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni. Nel procedere al calcolo dei parametri a ed n, sono state utilizzate le serie storiche delle precipitazioni intense riportate negli Annali Idrologici del Servizio Idrografico e Mareografico Italiano (Parte I, tabella III) relative ai massimi annuali delle precipitazioni della durata di 1, 3, 6, 12, 24 ore consecutive. L'intervallo di durata tra 1 e 24 ore rappresenta il campo entro cui sono da ricercare le durate critiche per la maggior parte dei corsi d'acqua per i quali la stima della portata di piena può essere effettuata tramite l'utilizzo delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica.

Al fine di fornire uno strumento per l'analisi di frequenza delle piogge intense nei punti privi di misure dirette è stata inoltre condotta dall'Autorità di bacino, all'interno della "Direttiva", un'interpolazione spaziale con il metodo di Kriging dei parametri "a" ed "n" delle linee segnalatrici, discretizzate in base ad un reticolo di 2 km di lato.

I risultati sono rappresentati nell'Allegato 3; gli elaborati consentono il calcolo delle linee segnalatrici in ciascun punto del bacino, a meno dell'approssimazione derivante dalla risoluzione spaziale della griglia di discretizzazione, per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni, identificando la localizzazione sulla corografia.

In Figura 4.1 si evidenziano le celle della Griglia di Dati in cui ricadono gli interventi in oggetto.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Y	00	D 11 RH	ID0001 001	A	16 di 27

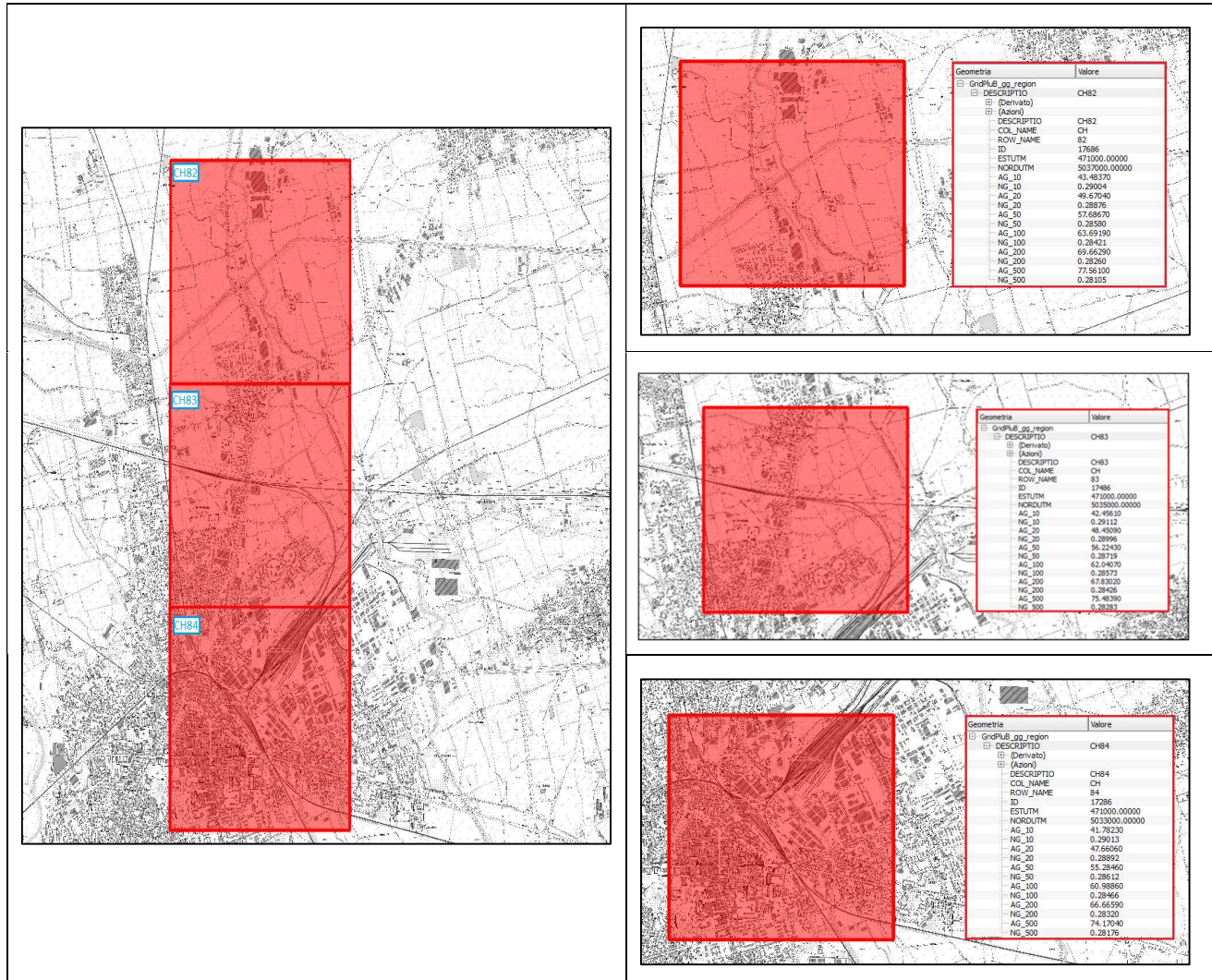


Figura 4.1 – Parametri Idrologici Curve di Possibilità Pluviometrica per le celle CH82 – CH83 – CH84

CELLA PAI	Tr = 10 anni		Tr = 20 anni		Tr = 50 anni		Tr = 100 anni		Tr = 200 anni		Tr = 500 anni	
	a [mm/h]	n [-]	a [mm/h]	n [-]	a [mm/h]	n [-]	a [mm/h]	n [-]	a [mm/h]	n [-]	a [mm/h]	n [-]
CH82	43.484	0.290	49.670	0.289	57.687	0.286	63.692	0.284	69.663	0.283	77.561	0.281

CELLA PAI	Tr = 10 anni		Tr = 20 anni		Tr = 50 anni		Tr = 100 anni		Tr = 200 anni		Tr = 500 anni	
	a [mm/h]	n [-]	a [mm/h]	n [-]	a [mm/h]	n [-]	a [mm/h]	n [-]	a [mm/h]	n [-]	a [mm/h]	n [-]
CH83	42.456	0.291	48.451	0.290	56.224	0.287	62.041	0.286	67.830	0.284	75.484	0.283

CELLA PAI	Tr = 10 anni		Tr = 20 anni		Tr = 50 anni		Tr = 100 anni		Tr = 200 anni		Tr = 500 anni	
	a [mm/h]	n [-]	a [mm/h]	n [-]	a [mm/h]	n [-]	a [mm/h]	n [-]	a [mm/h]	n [-]	a [mm/h]	n [-]
CH84	41.782	0.290	47.661	0.289	55.285	0.286	60.989	0.285	66.666	0.283	74.170	0.282

Figura 4.2 – Parametri Idrologici Curve di Possibilità Pluviometrica per le celle CH82 – CH83 – CH84

Come è possibile osservare i valori dei parametri delle curve di possibilità pluviometrica più cautelativi possono essere ascritti alla cella più settentrionale CH82. Coerentemente con quanto già realizzato in fase di Progettazione Preliminare, il dimensionamento dei presidi idraulici è realizzato in riferimento dei valori di a_{TR} ed n della cella indicata.

Ai fini della progettazione appare necessaria la determinazione dei parametri sintetici di pioggia per un periodo di ritorno pari a 25 anni, ottenuti mediante processo di interpolazione dei dati forniti dalla Autorità di bacino.

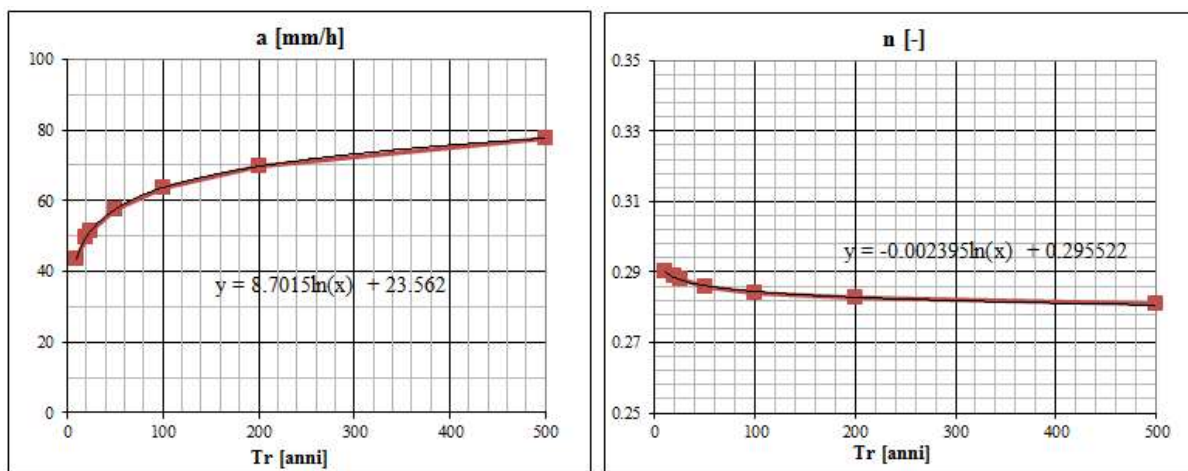



Figura 4.3 – Parametri Idrologici Curve di Possibilità Pluviometrica – regressione per TR=25 anni

I parametri risultano dunque pari a $a = 51.58 \text{ mm/h}^n$ e $n = 0.288$.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO LOTTO 10 – 1^ FASE FUNZIONALE IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA NM0Y	LOTTO 00	CODIFICA D 11 RH	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

4.2 CURVE DI POSSIBILITA' PLUVIOMETRICA - VAPI

L'analisi idrologica è finalizzata alla definizione dei parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica di assegnata probabilità di accadimento (sintetizzata nel parametro tempo di ritorno), indispensabili per il dimensionamento dei diversi manufatti idraulici in particolare per la valutazione dei tiranti idrici.

Per la definizione della curva di probabilità pluviometrica mediante applicazione del Progetto Va.Pi. sono state utilizzate le conclusioni del metodo in esame dell'Italia Nord Occidentale che include l'area oggetto dell'intervento.

Nell'ambito del progetto VAPI si è provveduto alla valutazione della distribuzione di probabilità del coefficiente di crescita (DPC) per ogni stazione pluviometrica in base all'ipotesi di invarianza di scala [Burlando & Rosso, 1996] utilizzando la distribuzione generalizzata del valore estremo (GEV). Stimati i parametri di forma (k), scala (α) e posizione (ε) della DPC/GEV per le stazioni esaminate nello studio resta univocamente determinata la relazione fra periodo di ritorno T e valore del coefficiente di crescita K_T , secondo la relazione:

$$T = \frac{1}{1 - F_K(K)} = \frac{1}{1 - \exp\left\{-\left[1 - \frac{k}{\alpha}(K - \varepsilon)\right]^{1/k}\right\}}$$

valida per piogge massime annuali di durata da 1 a 24 ore consecutive; tale relazione è stata estrapolata anche alle durate più brevi. Più utile dal punto di vista pratico è la forma inversa dell'equazione precedente per cui, fissato un valore T del periodo di ritorno in anni, si ricava il corrispondente valore del coefficiente di crescita K_T :

$$K_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} (1 - e^{-k \tau})$$

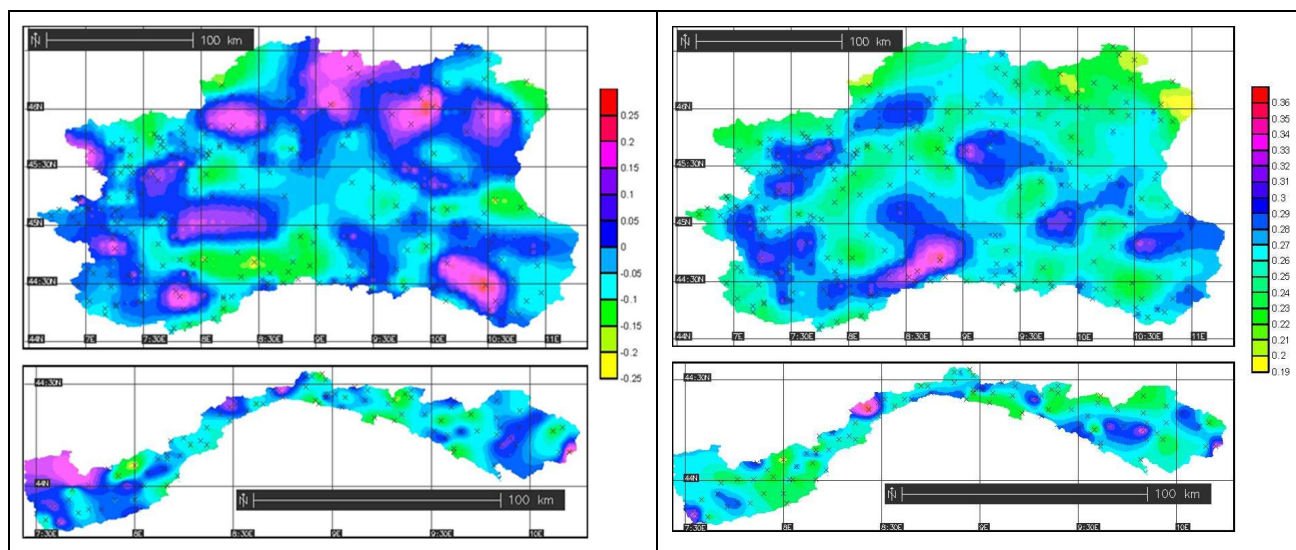
dove y_T indica la variabile ridotta di Gumbel, pari a $y_T = -\ln\left(\ln\frac{T}{T-1}\right)$ e i valori dei parametri k , α e ε sono riportati per i siti dove sono localizzate le stazioni pluviometriche; per gli altri siti si riportano le mappe dei parametri k , α e ε per l'intero territorio, ricavate per interpolazione con metodi di kriging (regressione) secondo la procedura illustrata da Rosso et al. [1997].

L'altezza di pioggia cumulata con periodo di ritorno T-ennale va quindi valutata come

$$h_T(d) = m(d)K_T$$

essendo $m(d)$ il valore atteso dell'altezza di pioggia massima annuale caduta in d ore consecutive.

Di seguito si riportano le mappe interpolate per i valori dei parametri di forma (k - Figura 4.4), di scala (α - Figura 4.5), di posizione (ε - Figura 4.6).



COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Y	00	D 11 RH	ID0001 001	A	20 di 27

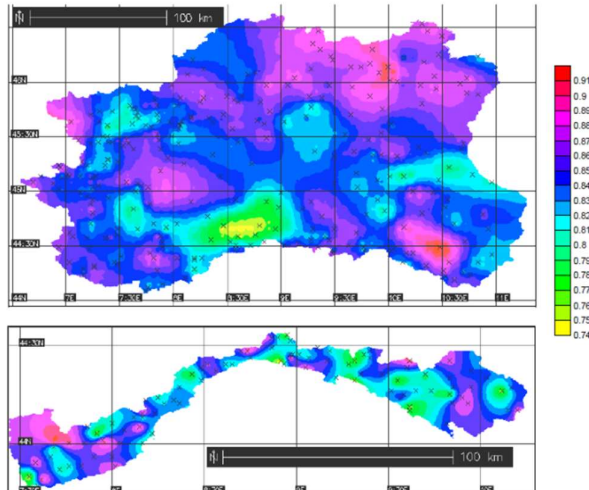


Figura 4.4 In alto a sinistra: mappa del parametro di forma, k , della distribuzione di probabilità del coefficiente di crescita dei massimi annuali delle piogge da 1 a 24 ore consecutive, con indicazione delle 366 stazioni di misura pluviometriche considerate.

Figura 4.5 In alto a destra: mappa del parametro di scala, α , della distribuzione di probabilità del coefficiente di crescita dei massimi annuali delle piogge da 1 a 24 ore consecutive, con indicazione delle 366 stazioni di misura pluviometriche considerate.

Figura 4.6 In basso a sinistra: mappa del parametro di posizione, ϵ , della distribuzione di probabilità del coefficiente di crescita dei massimi annuali delle piogge da 1 a 24 ore consecutive, con indicazione delle 366 stazioni di misura pluviometriche considerate.

Le leggi di probabilità pluviometriche definiscono il modo in cui la media del massimo annuale dell'altezza di pioggia su una fissata durata d ($m[h(d)]$) varia con la durata stessa. Per la zona in esame è stata adottata un'espressione del tipo:

$$m[h(d)] = a_1 d^n$$

I parametri della formula precedente sono stati valutati applicando la regressione ai minimi quadrati per tutte le 366 stazioni di misura pluviografiche presenti sul territorio esaminato. I valori osservati sono compresi per a_1 tra 10 e 49 mm/hⁿ e per n tra 0.21 e 0.61.

Per il territorio attraversato dall'infrastruttura di interesse si osservano:

- valori della precipitazione oraria tra i più elevati per l'intero bacino padano (in rosso in **Figura 4.6**)
- valori dell'esponente di durata n tra i più bassi comparati al resto del territorio ligure.

La combinazione di questi due fattori segnala nel complesso un clima di probabilità pluviometrica caratterizzato da precipitazioni marcatamente intense sulle brevi durate.

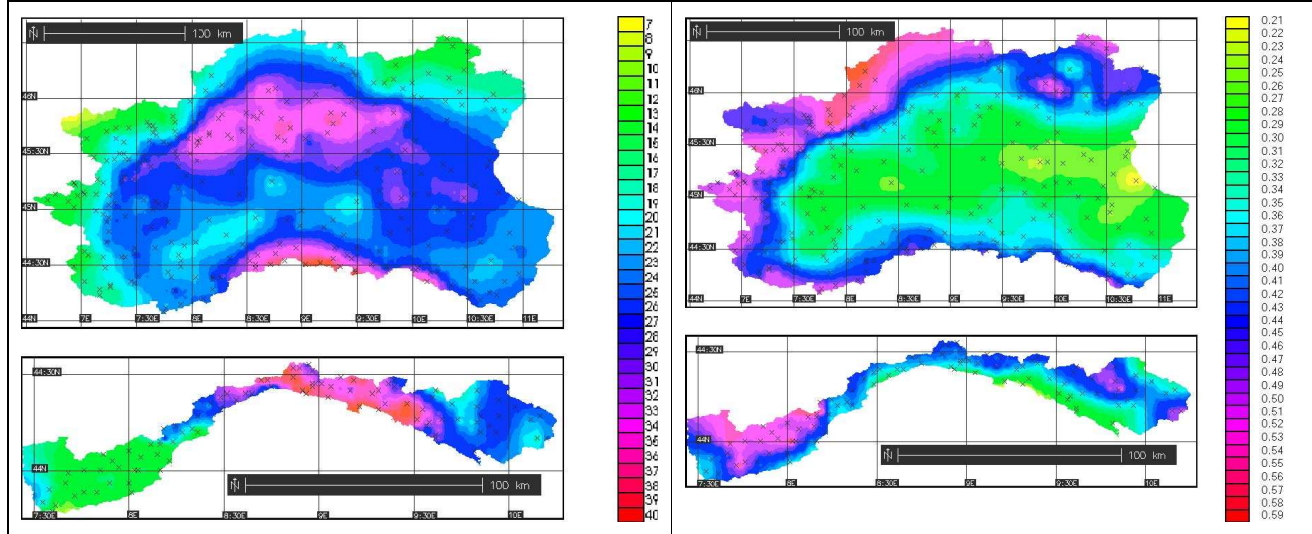


Figura 4.7 – Parametri Idrologici Curve di Possibilità Pluviometrica VAPI – A sinistra: mappa del coefficiente pluviometrico orario a_1 (mm/oreⁿ) pari al valore atteso della pioggia oraria massima annuale, con indicazione delle 366 stazioni di misura pluviometriche considerate. A destra – mappa dell'esponente di scala n della pioggia massima annuale al variare della durata da 1 a 24 ore consecutive, con indicazione delle 366 stazioni di misura pluviometriche considerate.

Infine nella sono riportati i valori dei parametri per le singole stazioni oggetto della regionalizzazione VAPI e i risultati ottenuti mediante l'approccio metodologico.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Y	00	D 11 RH	ID0001 001	A	22 di 27

BACINO PADANO

Località	Num. Anni	ε	α	k	a_1 mm/ore ⁿ	n
OROPA	54	0.858	0.236	-0.026	34.3	0.511
VERCELLI	54	0.828	0.255	-0.091	27.9	0.281
CREMONA	53	0.800	0.274	-0.134	24.9	0.286
LOCO	52	0.799	0.274	-0.139	38.3	0.383
VARALLO	52	0.865	0.266	0.074	34.0	0.489
HONE-BARD	52	0.821	0.318	0.015	25.0	0.510
IVREA	52	0.849	0.243	-0.043	28.6	0.310
CUNEO	52	0.825	0.253	-0.106	25.7	0.338
SPIGNO	52	0.794	0.313	-0.154	24.9	0.387
MANTOVA	52	0.811	0.242	-0.173	27.1	0.206
TORINO	51	0.838	0.292	-0.048	29.4	0.249
LAVAGNINA	51	0.745	0.288	-0.241	35.3	0.429
BOSCHI	51	0.806	0.280	-0.104	29.8	0.378
MARRA	51	0.813	0.292	-0.090	28.3	0.389
LANZADA	51	0.896	0.200	0.058	13.5	0.456
SPARONE	50	0.848	0.288	0.051	29.1	0.476
BOSCO	50	0.855	0.280	0.084	32.3	0.472
BARDI	50	0.869	0.225	-0.005	23.7	0.373
BRENO	50	0.873	0.225	0.016	21.2	0.313
CAMPERTOGNO	49	0.813	0.277	-0.091	26.2	0.545
VOGHERA	49	0.819	0.266	-0.064	24.4	0.267
ROSONE	48	0.833	0.289	-0.041	22.1	0.528
MIGNANO	48	0.828	0.259	-0.080	26.7	0.345
BORGONATO	48	0.825	0.240	-0.136	27.8	0.275
GHEDI	48	0.834	0.254	-0.073	28.1	0.236
RIMASCO	47	0.858	0.290	0.065	26.0	0.532
PONT	47	0.845	0.285	0.035	33.7	0.380
VU	47	0.808	0.287	-0.125	27.4	0.529
MILLESIMO	47	0.812	0.272	-0.104	24.8	0.432
CANNOBIO	47	0.828	0.284	-0.028	37.4	0.412
PESSINETTO	46	0.803	0.309	-0.057	30.8	0.432
COMBAMALA	46	0.846	0.234	-0.076	19.5	0.362
BSA	46	0.834	0.235	-0.150	22.4	0.290
ISOLA	46	0.887	0.249	0.045	26.5	0.381
BOBBIO	46	0.860	0.236	-0.017	23.3	0.336
BORGOMANERO	46	0.845	0.243	-0.056	29.7	0.370
BERGAMO	46	0.859	0.271	0.058	30.5	0.272
BORMO	46	0.851	0.198	-0.026	10.4	0.495
PONT	45	0.833	0.288	-0.003	26.0	0.424
CORSAGLIOLA	45	0.844	0.285	0.030	27.0	0.402
BEDONIA	45	0.856	0.250	0.001	31.3	0.370
LAGO	45	0.868	0.258	0.068	18.8	0.448
OSRESOLE	44	0.832	0.275	-0.032	18.2	0.540
STRETTARA	44	0.817	0.285	-0.081	25.0	0.310
NOVARA	44	0.821	0.266	-0.090	25.7	0.335
LILLAZ	43	0.771	0.308	-0.148	17.8	0.527
GRESSONEY-TRIN.	43	0.842	0.241	-0.073	14.6	0.550
MAZZE	43	0.844	0.217	-0.125	28.6	0.243
CALONERE	43	0.804	0.312	-0.049	25.3	0.434
FEDO	43	0.882	0.239	-0.003	17.4	0.468
ISOLA	43	0.756	0.283	-0.225	33.9	0.376
SESTOLA	43	0.851	0.255	-0.006	25.4	0.389
TREVIGLIO	43	0.825	0.285	-0.037	29.1	0.254
GAVER	43	0.852	0.232	0.072	19.1	0.491
MONCENISO	42	0.895	0.240	0.161	15.2	0.449
PEROSA	42	0.836	0.272	-0.024	18.5	0.476
PESCHERA	42	0.836	0.258	-0.058	26.0	0.251
VALLE	42	0.877	0.216	0.008	22.7	0.370
DOMODOSSOLA	42	0.845	0.273	0.012	21.3	0.529

Simbolo	Grandezza	NOVARA
ε	Parametro di posizione	0.821
α	Parametro di forma	0.266
k	Parametro di scala	-0.09
q_1	Altezza oraria media	25.7
n	Esponente curva di crescita con la durata	0.335
YT		
TR 25	Variabile standardizzata Gumbel	3.20
TR 50		3.90
TR 100		4.60
TR 200		5.30
TR 500		6.21
KT		
TR 25	Coefficiente di crescita (TR)	1.81
TR 50		2.06
TR 100		2.34
TR 200		2.63
TR 500		3.04
a_1 (mm)		
a_1 (1 h) TR 25	Altezza oraria (TR)	46.44
a_1 (1 h) TR 50		53.06
a_1 (1 h) TR 100		60.06
a_1 (1 h) TR 200		67.48
a_1 (1 h) TR 500		78.01

Figura 4.8 – A sinistra: elenco delle località del bacino Padano con stima parametri di regionalizzazione. A destra: calcolo dei parametri a_1 ed n per l'area di Novara.

Il grafico che segue riproduce l'andamento delle CPP ottenute per applicazione dei parametri del PAI di ABPO e per Progetto Va.Pi..

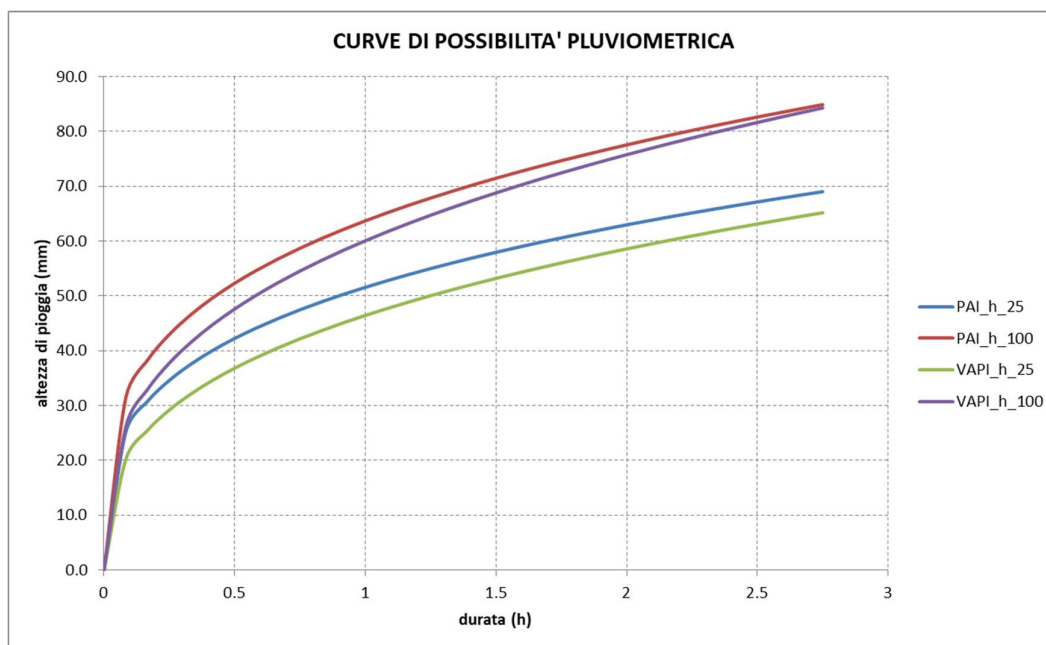


Figura 4.9 Raffronto curve di possibilità pluviometrica PAI - VAPI


Come è possibile osservare il raffronto indica che i valori di pioggia per durate unitarie ottenuti mediante applicazione dei parametri del PAI conducono sempre a condizioni più cautelative.

Di seguito si riportano i valori dei parametri idrologici utilizzati nel progetto in essere.

Tr = 10 anni		Tr = 20 anni		Tr = 25 anni		Tr = 50 anni		Tr = 100 anni		Tr = 200 anni		Tr = 500 anni	
a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n
[mm/h]	[-]	[mm/h]	[-]	[mm/h]	[-]	[mm/h]	[-]	[mm/h]	[-]	[mm/h]	[-]	[mm/h]	[-]
43.484	0.290	49.670	0.289	51.579	0.288	57.687	0.286	63.692	0.284	69.663	0.283	77.561	0.281

Figura 4.10 Parametri delle curve di possibilità pluviometrica per eventi di durata superiore uguale a 1 ora.

4.4 CURVE DI POSSIBILITA' PLUVIOMETRICA – PIOGGE BREVI

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO LOTTO 10 – 1^ FASE FUNZIONALE IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA NM0Y	LOTTO 00	CODIFICA D 11 RH	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

In bacini imbriferi di limitata estensione e di relativa rapidità dei deflussi, i tempi di concentrazione sono brevi e di conseguenza le precipitazioni che interessano sono le piogge intense di durata breve con tempi inferiori all'ora. Tale aspetto assume una notevole importanza nel dimensionamento del drenaggio di piattaforma. L'utilizzo della legge valida per durate maggiori dell'ora risulta spesso troppo cautelativa.

Nel caso oggetto della presente relazione il calcolo delle curve di probabilità pluviometrica a tempi inferiori ad un'ora è stata utilizzata la formula di Bell.

Bell ("GeneralizedRainfallDurationFrequencyRelationship" – Journal of the HydraulicsDivision – Proceedings of american Society of CivilEngineers – volume 95, issue 1 – gennaio 1969) ha osservato che i rapporti r_T tra le altezze di durata t molto breve ed inferiori alle due ore e l'altezza oraria sono relativamente poco dipendenti dalla località in cui si verificano.

Lo U.S. Water Bureau raccomanda per tempi di pioggia inferiore a mezz'ora l'adozione di una relazione empirica, derivata interamente da dati di breve durata; tale relazione mostra che il tempo in minuti in pioggia ha un rapporto costante con la pioggia della durata di 1 ora per lo stesso tempo di ritorno così come segue:

t [min]	5	10	15	30
$r_{\delta} = h_{\delta} / h_{60}$	0.29	0.45	0.57	0.79

Figura 4.11 Rapporto tra altezza di pioggia di durata inferiore ad un ora – U.S. Water Bureau

Questi rapporti variano di molto poco negli Stati Uniti ed i loro valori sono indipendenti dal periodo di ritorno.

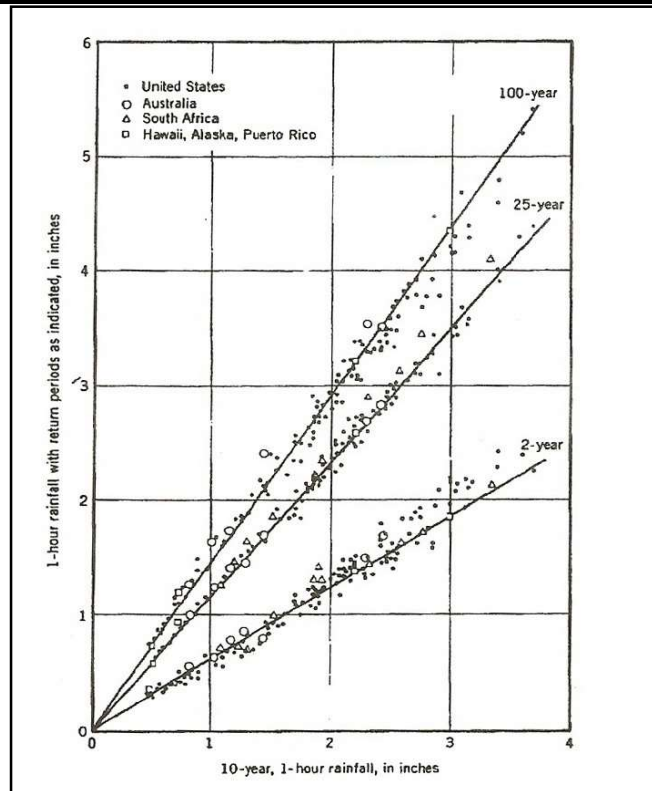


Figura 4.12 Relazione altezza-frequenza per 2, 25, 100 anni

Bell, come sopra accennato, sulla scorta di osservazioni provenienti da oltre 150 stazioni con oltre 40 anni di osservazione, ha dimostrato che tale correlazione si può estendere fino a valori di durata sino alle due ore, come risulta dalla Figura 4.7, ha riscontrato la costanza dei rapporti tra tempi di pioggia breve e tempo di pioggia della durata pari ad un'ora, anche in Australia, Africa, Hawaii, Alaska e Porto Rico.

In relazione alla modesta variazione dei rapporti di intensità durata correlata al tempo di ritorno, ha proposto la seguente relazione che ben si adatta ai dati osservati:

$$\frac{P_T^t}{h_T^{60}} = (0.54t^{0.25} - 0.50)$$

applicabile per $5 \leq t \leq 120$ minuti dove:

- P_T^t indica l'altezza di pioggia relativa a un evento pari al tempo t riferita al periodo di ritorno T

- h_T^{60} è l'altezza di pioggia relativa ad un evento di durata pari ad un'ora riferita al periodo di ritorno T

-t è il tempo di pioggia espresso in minuti.

Nota l'altezza di pioggia h_t relativa all'evento di durata t , passando ai logaritmi, le coppie altezza di pioggia-durata vengono regolarizzate con l'equazione di una retta dove il termine noto indica il parametro a e il coefficiente angolare rappresenta il parametro n' .

Le curve di possibilità pluviometrica per tempi di ritorno di 10, 25, 50, 100, 200 e 500 anni e durata inferiore ad un'ora, riferite al progetto in essere, sono riportate di seguito, con tempo t espresso in minuti.

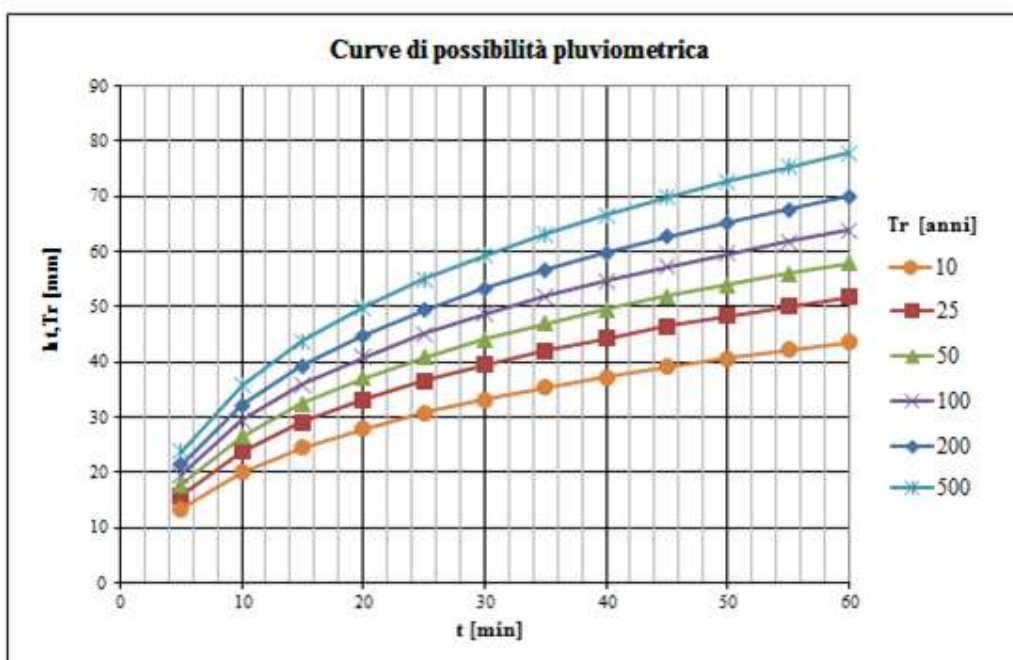



Figura 4.13 - Curve di possibilità pluviometrica di durata inferiore a 1 h

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO LOTTO 10 – 1^ FASE FUNZIONALE IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA NM0Y	LOTTO 00	CODIFICA D 11 RH	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

5 CONCLUSIONI

Lo studio idrologico della presente relazione espone le metodologie adottate per la determinazione delle curve di possibilità pluviometrica di assegnato tempo di ritorno che verranno assunte nelle verifiche idrauliche. In tale ambito, l'analisi in esame si articola nell'individuazione dei parametri sintetici necessari alla determinazione degli eventi meteorici estremi, ponendo particolare attenzione alla casistica caratterizzante le piogge con durata complessiva inferiore all'ora (scrosci).

Nel dettaglio, l'analisi mette in luce la maggiore cautela progettuale nell'adozione delle Curve Sintetiche di Pioggia ottenute mediante trattazione esposta dal PAI (Piano di Assetto Idrologico) che sono matematicamente rappresentate in forma monomia secondo i valori riportati in tabella:

$$h_{TR,d} = ad^n$$

ID	d ≥ 1h			d < 1h		
	TR = 25 anni	TR = 100 anni	TR = 200 anni	TR = 25 anni	TR = 100 anni	TR = 200 anni
a (mm/h ⁿ)	51.579	63.69	69.66	61.87	76.41	83.57
n	0.288	0.288	0.288	0.56	0.56	0.56